

力の作用点高さ、生存・枯死、生育場所からみた海岸黒松の津波耐力*

秋田大学 松富英夫
静岡大学 原田賢治
秋田大学 鴨澤明志
秋田大学 決得元基
秋田大学 嶋津 朋

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震津波(以下「本津波」)では、三陸の海岸林は壊滅的であったが、仙台市や青森県三沢市の海岸林はある程度の津波減勢効果を発揮した¹⁾(図-1. κ は植生密度²⁾)。海岸林を津波減勢の目的で積極的、計画的に活用する場合はその特性を十分に知っておく必要がある。

そこで、本研究は本津波浸水域における代表樹種である黒松の特性と被害条件(倒伏、抜根、折損)に関する現地試験データを水平力の作用(載荷)高さ、生存・枯死、生育場所の観点から解析し、海岸黒松の津波耐力に関する特性を多面的に論じる。

2. 現地試験

海岸黒松の特性と被害条件に関する現地試験は岩手県の宮古市田老字向山(2011年12月6~9日(Case 1~13)、津波被災後に枯死)、山田市船越浦の浜(2012年5月11~13日(Case 14~26)、6月15~17日(Case 27

~46)、津波被災後も生存)と普代村9地割銅屋(2013年8月19~21日(Case 47~59)。津波被災後に枯死)で行った。試験地の遠景を図-2に示す。試験樹木には水平力の載荷高さ(地表面から1.2, 2.4, 3.6, 4.8 m)が異なるものがあるとともに、生存木もあれば、枯死木もある。河川そばの礫混じりの砂地盤(田老字向山、9地割銅屋)、汀線そばの砂地盤(船越浦の浜)のものもある。これら地域の地震による地盤沈下量は一等水準点で0.4 m程度³⁾、試験期間中の日最大と日最小の潮差(宮古)は127 cmと67 cmである(2012年分調査のみ)⁴⁾。

測定項目はワイヤー、滑車とパワーショベルを用いて樹木へ載荷する水平力F、水平載荷力毎の樹木の水平変位 δ 、樹高H、樹幹高 H_T 、胸高直径D、水平力載荷樹幹部の比重S、抜根時

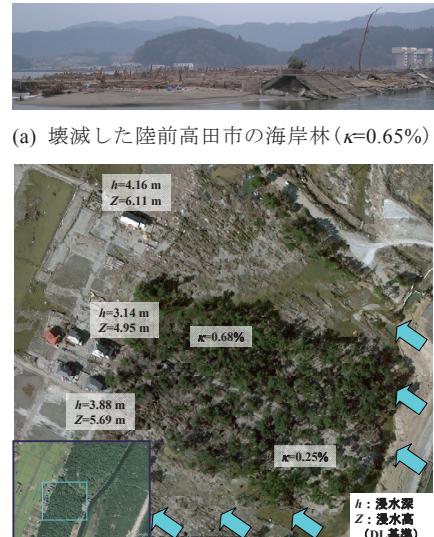


図-1 海岸林の限界と効果例(Google Earth)

* Strength of Coastal Black Pine Tree against Tsunami Viewed from Working Height of Horizontal Force, Life-Death and Growing Place by Hideo MATSUTOMI, Kenji HARADA, Hiroshi KAMOZAWA, Genki KETTOKU and Tomomi SHIMAZU

の根部の深さ h_R と幅（長軸と短軸の 2 方向），地下水表面から地表面までの高さ h_G である。樹木の幾何諸元の記号と定義を図-3 に示す。力は引張型荷重計 ((株) 東京測器研究所, 定格容量 100 kN (Case 1~26), 200 kN (Case 27~59)) で測定した。力の載荷点は基本的に地表面から高さ 1.2 m の胸高直径測定部 (Case 39~41, 47~49, 51~59 は 2.4 m, Case 42, 44 と 50 は 3.6 m, Case 43, 45, 46 は 4.8 m) である。力の載荷中に載荷部からワイヤーがずれないように載荷部に浅いカットを入れた。樹木の水平変位は 10 cm 間隔に目盛った測量ポールを試験樹木のそばで、地表面上 1.2 m, 水平に設置し、載荷荷重毎に撮影した写真から判読した。ポール、樹木、撮影点間の間隔も測定した。

3. 試験結果とその考察

図-4~8 に Case 每の樹木の樹高 H , 胸高直径 D , 水平力載荷樹幹部の比重 S , 根部の深さ h_R , 平面積 A_R (=長軸長×短軸長) と体積 V_R ($=A_R \times h_R$), 合成弾性係数 $E^5)$ (倒伏前の比例限度内で評価) および水平力 F (□: 最大載荷外力, ●: 倒伏耐力) を示す。

図-4~6 によると、試験黒松の樹齢 (年輪から判定) は 60~70 年, 樹高は 21 m 程度と一定, 胸高直径は 0.22~0.49 m 程度, 比重は 0.8 程度 (枯死したものはこれよりやや小さい) である。

図-5, 7, 8 から, 胸高直径が増加するにつれて、換言して成長がよい樹木ほど、根部の深さと合成弾性係数はやや減少、根部の平面積と体積は増加し、根部がふっくらとしてくることが判る。根部の深さと合成弾性係数が同じ傾向を持つことは両者の密接な関係を示唆する。根部の深さが減少すれば、根部の円弧すべり半径が減少することになり、合成弾性係数も減少すると考えられる。

図-9 に試験黒松の胸高直径 D , 水平力 F と被害形態 (持ち堪える (Withstanding): □, 倒伏 (Lodging): ●, 抜根 (Uprooting): ▲, 折損 (Breaking): ◆) の関係 (全データ), 図-10 に試験黒松の胸高直径 D , モーメント M と被害形態の関係 (全データ) を示す。両図にはインドネシアの Sea Casuarina に対する現地試験に基づいた倒伏 (実線) と抜根 (破線) の上限条件⁵⁾も示してある。図-10 には抜根耐力×力の載荷点高さ (1.2, 2.4, 3.6, 4.8 m)



(a) 岩手県宮古市田老字向山の県有海岸林



(b) 岩手県山田市船越浦の浜の県有海岸林



(c) 岩手県普代村 9 地割銅屋の県有海岸林

図-2 現地試験地の遠景

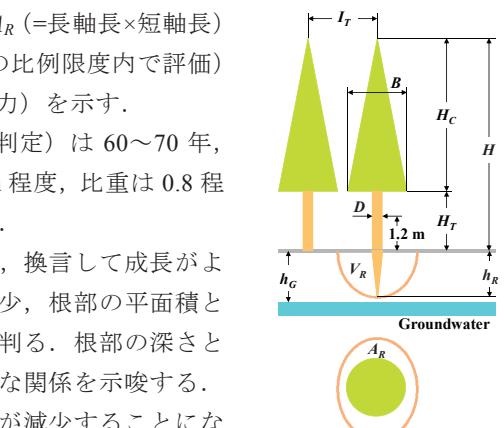


図-3 諸記号の定義

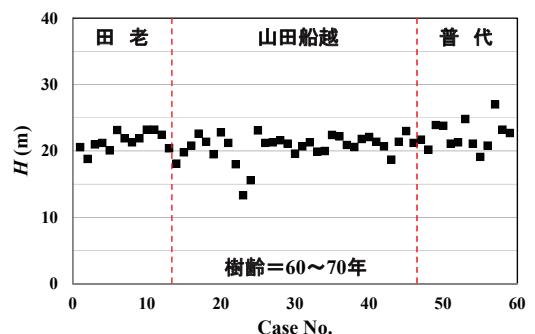
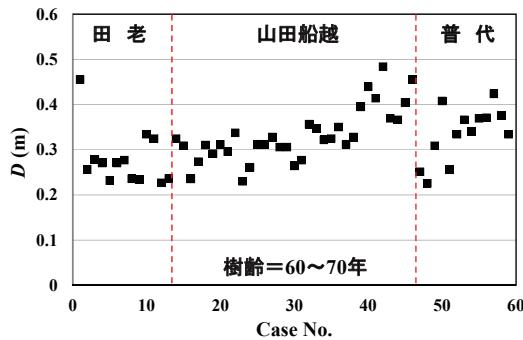
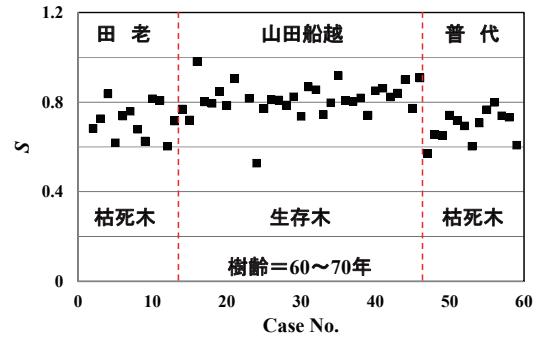
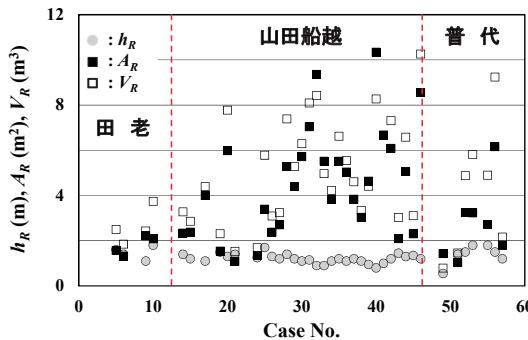
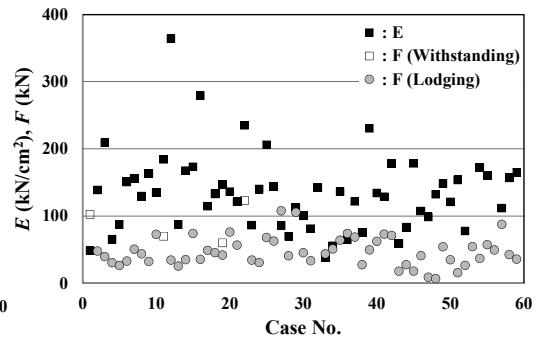
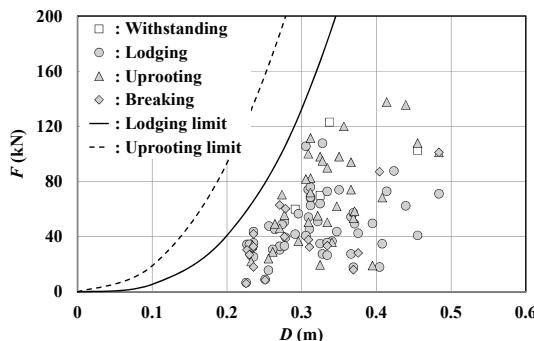
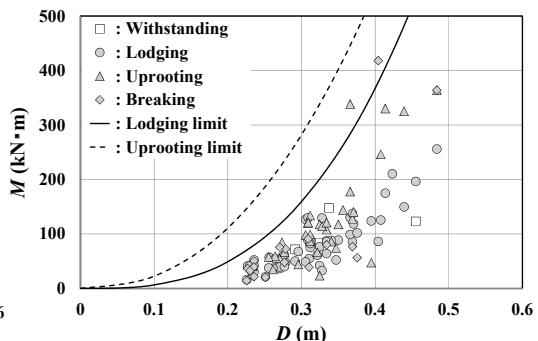


図-4 試験黒松の樹高 H

図-5 試験黒松の胸高直径 D 図-6 胸高直径部または荷重載荷部の比重 S 図-7 試験黒松の根部の深さ h_R , 平面積 A_R と体積 V_R 図-8 試験黒松の合成弾性係数 E と水平力 F 図-9 試験黒松の胸高直径 D , 水平力 F と被害形態の関係（全体）図-10 試験黒松の胸高直径 D , モーメント M と被害形態の関係（全体）

として評価した抜根時の仮想モーメントのデータが含まれている。

図-11～13は図-9の全データを被害形態別に水平力の作用点高さ, 樹木の生存・枯死, 生育場所で選別したものである。図から, 水平力で被害条件をみた場合はデータの分散が大きく, 作用点高さが低いほど水平力が大きいことが判る。生育場所でみたとき, 田老における水平力

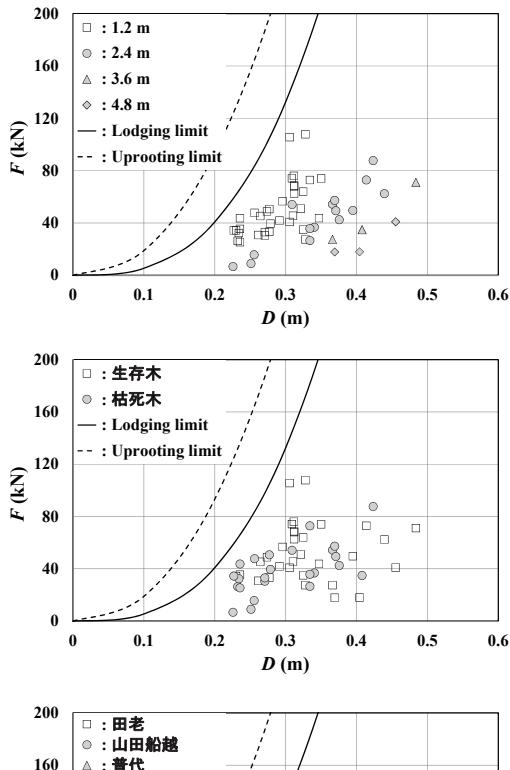


図-11 試験黒松の胸高直径 D , 水平力 F と被害形態の関係 (Lodging)

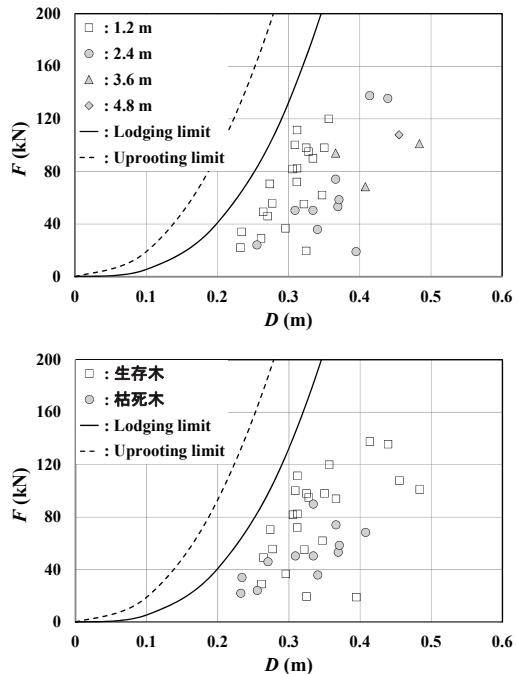


図-12 試験黒松の胸高直径 D , 水平力 F と被害形態の関係 (Uprooting)

が大きくみえるが、これは田老では作用点高さを 1.2 m に固定しているためである。

図-14 と 15 は図-10 の全データを被害形態別に水平力の作用点高さ、樹木の生存・枯死、生育場所で選別したものである。図から、モーメントで被害条件をみた場合は水平力のときよりデータの分散が小さく、力の作用点高さ、樹木の生存・枯死、生育場所による差違はあまり認められないことが判る。

図-16 に胸高直径 D とモーメント M の関係回帰曲線（実線）を示す。本図では抜根のデータは除いている。破線は回帰曲線の値を 0.5 と 1.5 倍したときのものである。図から、ほとんどのデータが回帰曲線から 5 割の偏差内に含まれることが判る。

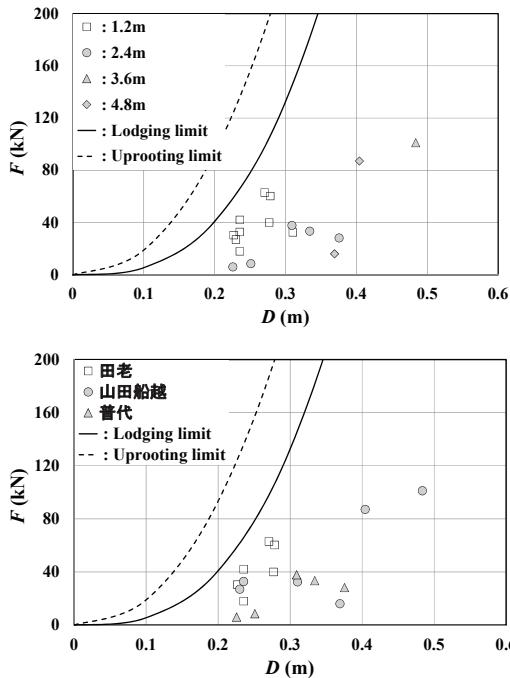


図-13 試験黒松の胸高直径 D , 水平力 F と
被害形態の関係 (Breaking)

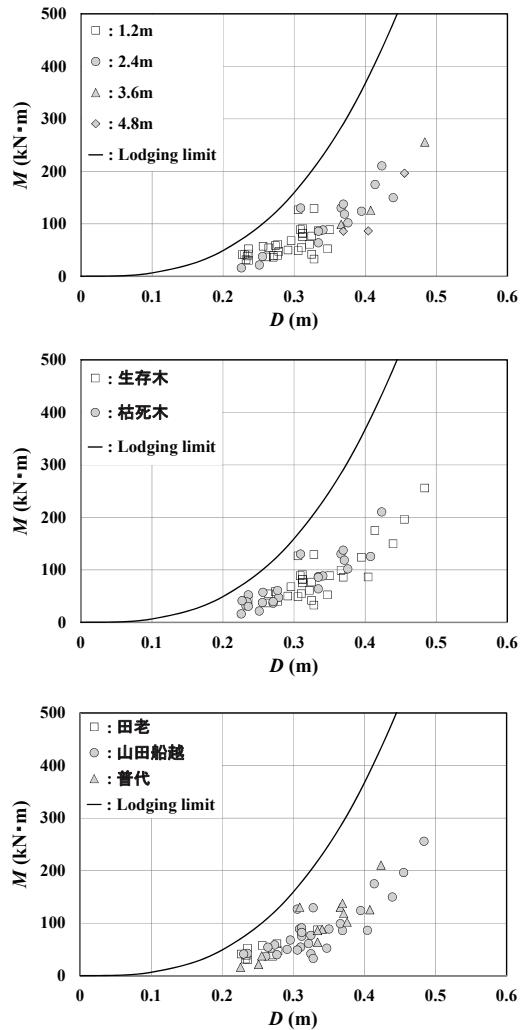


図-14 試験黒松の胸高直径 D , モーメント M と
被害形態の関係 (Lodging)

4. おわりに

本研究で得られた主な結果は次の通りである。

- ①黒松が各種被害に至る水平力はその作用高さに大きく依存し、作用高さが低いほど、各種被害形態の被害水平力は大きくなる。
- ②本研究の現地試験では、黒松の生存木と枯死木の耐力に大差はなかった。
- ③本研究の現地試験では、生育場所の違いによる黒松の耐力に大差はなかった。
- ④黒松が各種被害に至るモーメントデータの分散は水平力のときより小さく、水平力の作用高さ、樹木の生存・枯死、生育場所による差違、倒伏と折損の被害条件の差違（折損モーメント > 倒伏モーメント⁶⁾）はあまり認められなかった。

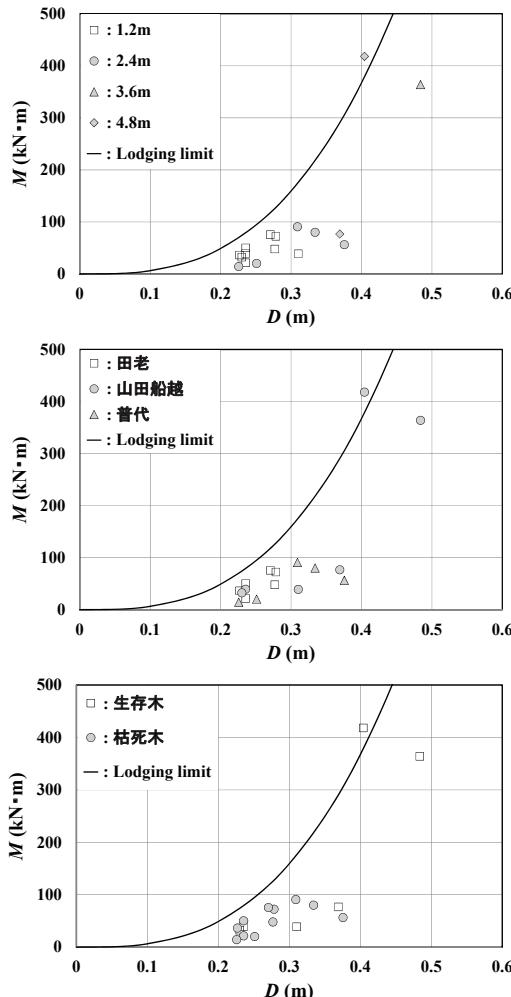


図-15 試験黒松の胸高直径 D , モーメント M と
被害形態の関係 (Breaking)

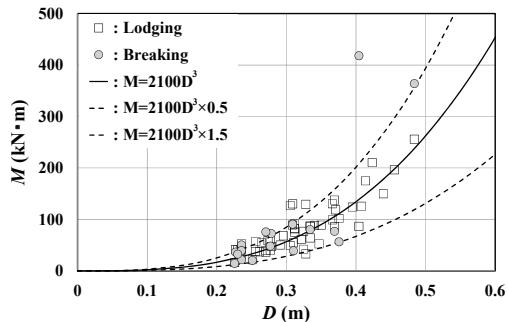


図-16 試験黒松の胸高直径 D , モーメント M と
被害形態の関係 (回帰式)

⑤倒伏と折損モーメントデータに対する平均的な回帰式として $M=2100D^3$ を提案した。また、ほとんどのデータが提案式の 0.5~1.5 倍の中に含まれた。

謝辞：本研究を実施するにあたり科学研修費（基盤研究(C), 21510187, 24510244）（代表：松富英夫）と北東北国立3大学連携推進研究プロジェクト（代表：塙 茂樹）の補助を受けた。現地試験では岩手県農林水産部森林保全課 千葉一弘氏、宮古農林振興センター 多田広之氏と県北広域振興局林務部森林保全課 野場英義氏にお世話をなった。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 松富英夫・山口枝里子・直江和典・原田賢治：東北地方太平洋沖地震津波における鉄筋コンクリート造建物と海岸黒松の被害条件, 土木論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.351-355, 2012.
- 2) 松富英夫・大沼康太郎・今井健太郎：植生域氾濫流の基礎式と植生樹幹部の相似則, 海岸工学論文集, 第 51 卷, pp.301-305, 2004.
- 3) 国土地理院：<http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun60008.html>, 2011.04.14 参照.
- 4) 気象庁：<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=MY>, 2012.07.20 参照.
- 5) 松富英夫・原田賢治・A. Bagyo WIDAGDO・Subandono DIPOSAPTONO : Casuarina の倒伏・抜根条件と 2010 年 Mentawai 地震津波でのその検証, 土木論文集 B2(海岸工学), Vol.67, No.2, pp. 301-305, 2011.
- 6) 松富英夫・原田賢治・星孟志・齋藤可織・決得元基：現地試験に基づく東北地方太平洋沖地震津波浸水域における黒松の特性と被害条件, 土木論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.416-420, 2013.