

現地試験に基づく東北地方太平洋沖地震津波被災域における黒松の特性*

秋田大学 松富英夫
 秋田大学 星 孟志
 静岡大学 原田賢治
 秋田大学 決得元基

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震津波では、三陸の海岸林は壊滅的であったが、仙台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、本研究は東北地方太平洋沖地震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)を現地試験に基づいて論じる.

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)と山田市船越浦の浜(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)で行った(**図-2**). 両試験地の地盤は主に砂質で、地震による地盤沈下量は一等水準点とともに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.

測定項目はワイヤー、滑車とパワーショベルにより樹木へ载荷する水平力 F , 樹木の水平変位, 樹高 H , 胸高直径 D , 抜根時の根部の深さ h_R と幅(長軸と短軸の2方向), 水平力载荷樹幹部の比重 S , 地下水面から地表面までの高さ h_G である. 樹木幾何諸元の記号の定義を**図-3**に示す. 力は引張型荷重計(東京測器研究所, 定格容量100 kN(Case 1~26), 200 kN(Case 27~46))で測定した. 力の载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は2.4 m, Case 42と44は3.6 m, Case 43, 45, 46は4.8 m)である. 载荷中に载荷点のワイ



(a) 壊滅した陸前高田市の海岸林 ($\kappa=0.65\%$)



(b) 仙台市の海岸林(幅 140m, 奥行 220m)

図-1 海岸林の効果と限界例(Google Earth)



図-2 試験地(上段:宮古市, 下段:山田町)

* Characteristics of Black Pine Tree Based on Field Tests in the Inundation Area of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami
 by Hideo MATSUTOMI, Takeshi HOSHI, Kenji HARADA and Genki KETTOKU

ヤーがずれないように載荷部に浅いカットを入れた．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，撮影点の間隔も測定した．

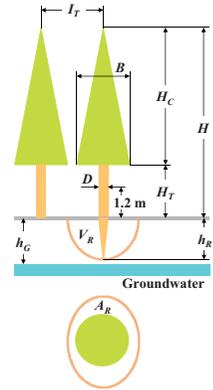


図-3 諸記号の定義

3. 試験結果とその考察

図-4～7 と図-9～10 に Case 毎の樹木の高さ 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 ，地下水面から地表面までの高さ h_G ，根部の平面積 A_R (=長軸長×短軸長)，体積 V_R (= $A_R \times h_R$)，合成弾性係数 E (倒伏前の比例限度内で評価) および水平力 F を示す．

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 (枯死したものはやや

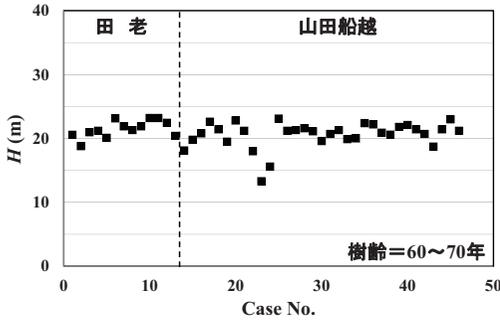


図-4 試験黒松の樹高 H

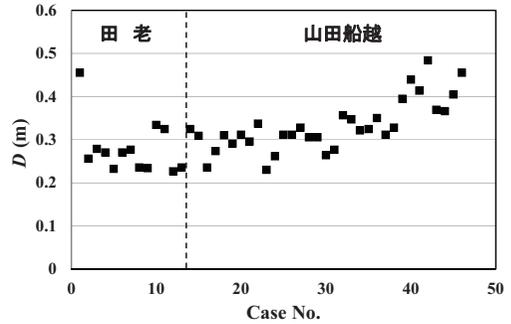


図-5 試験黒松の胸高直径 D

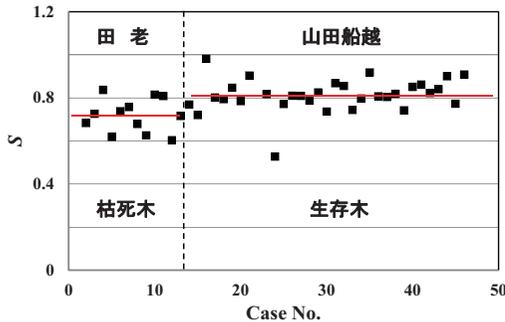


図-6 胸高直径部または荷重載荷部の比重 S

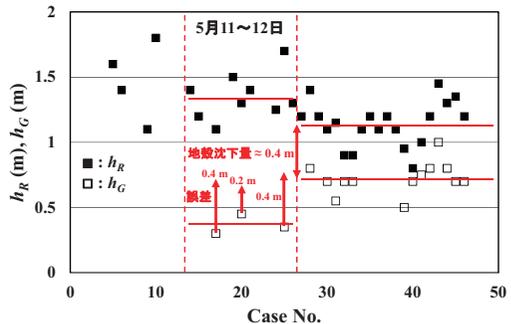


図-7 根部深さ h_R と地下水面と地表面間の高さ h_G

小さい) である．

図-7 から，根部の最深点は地下水面下 0.1～1.3 m に達していると判断される．根部のこの深さについては地震後の地盤沈下量 (0.4 m 程度) や地盤種別，潮差，地表面位置の判断ミスによる測定誤差 (0.2～0.4 m 程度) などを考慮する必要がある．図-8 に現地試験時の潮位⁴⁾ (矢印のデータは地下水面から地表面までの高さを測定したもの) や地表面位置の判断ミスによる測定誤差 (写真中に記載) 例を示す．図-7 から理解されるように，地震後の地盤沈下量と測定

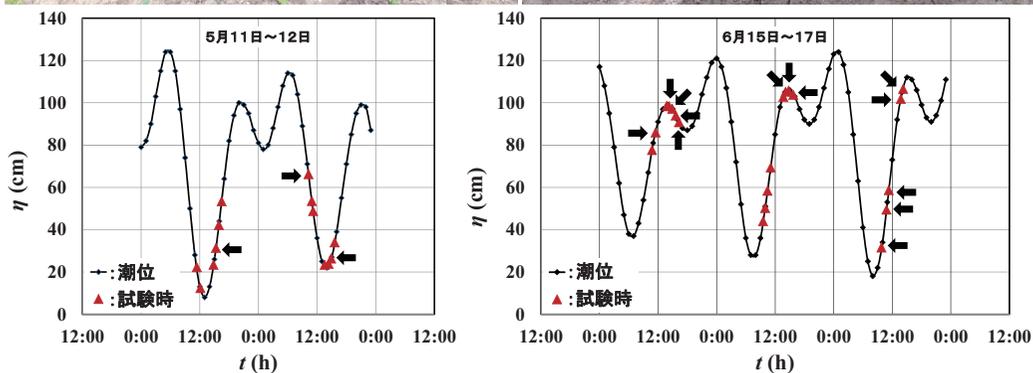


図-8 現地試験時の潮位（宮古，CDL=TP - 80.6 cm）

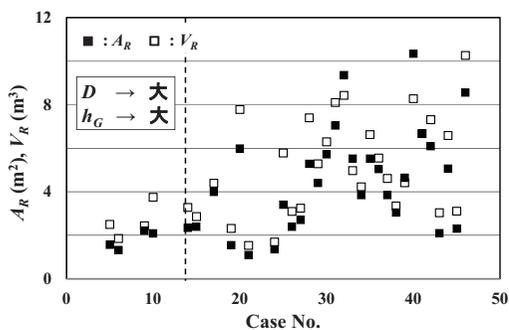


図-9 試験黒松の根部の平面積 A_R と体積 V_R

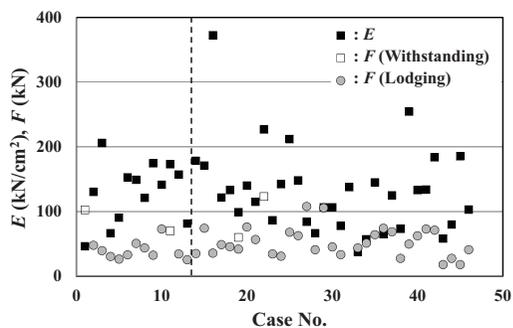


図-10 試験黒松の合成弾性係数 E と水平力 F

誤差を考慮するだけで地下水面から地表面までの高さが $0.4 \sim 0.8$ m 程度改善され、根部の深さと同程度の高さになる。

胸高直径が増加するにつれて、換言して成長がよいものほど、根部の深さと合成弾性係数は減少、根部の平面積と体積は増加し、根部がふっくらとすることが判る。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暗示する。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ため、合成弾性係数も減少すると考えられる。

図-10 によると、①胸高直径が大きいかからといって、倒伏耐力が常に大きいとは言えず、②倒伏耐力が大きいかからといって、合成弾性係数が常に大きいとも言えない。

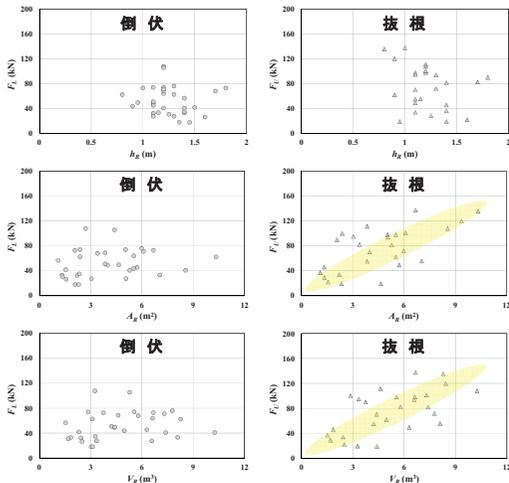


図-11 根部諸量と水平力 F の関係 (黒松)

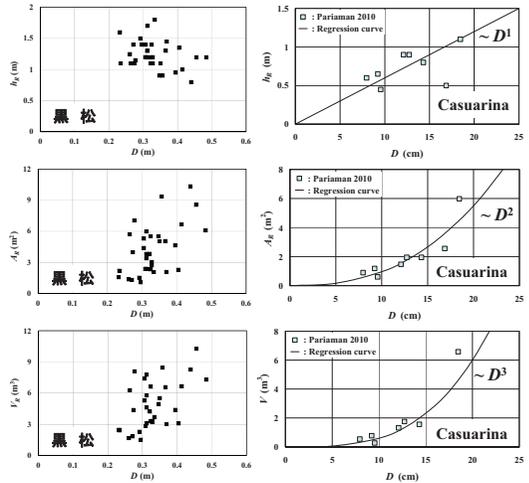


図-12 胸高直径 D と根部諸量の関係

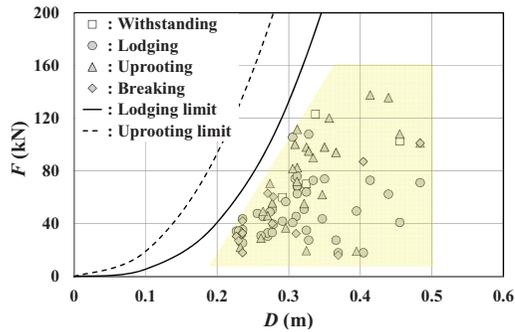


図-13 胸高直径 D , 水平力 F と被害形態の関係

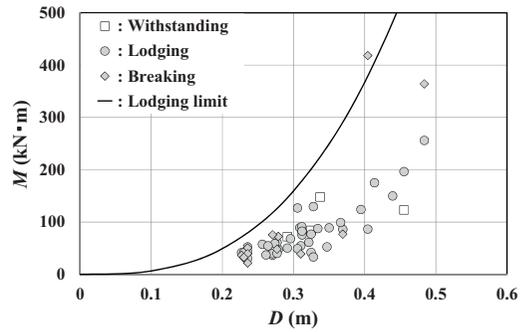


図-14 胸高直径 D , モーメント M と被害形態の関係

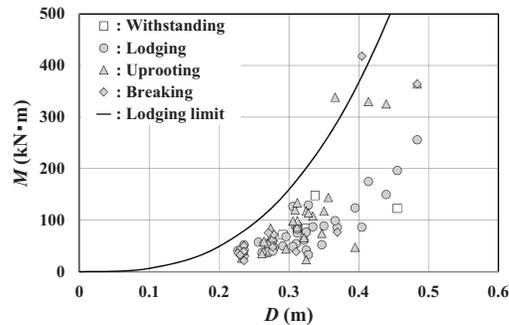


図-15 胸高直径 D , モーメント M と被害形態の関係

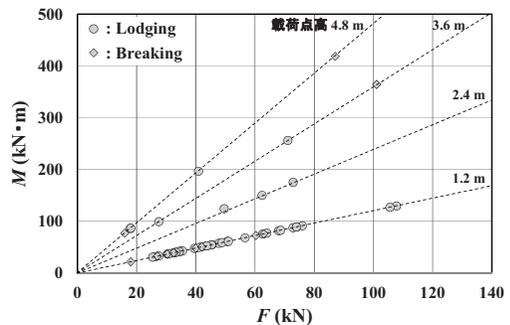


図-16 水平力 F , モーメント M と被害形態の関係

図-11 と 12 にそれぞれ根部諸量と水平力 F (F_L : 倒伏耐力, F_U : 抜根耐力), 胸高直径と根部諸量の関係を示す. 図-12 にはインドネシアの生きたモクマオウ科の常緑高木 Sea Casuarina に対する現地試験に基づいた結果⁵⁾も示してある. 両図から, ①次元よりも3次元の情報というように情報量が多いほど, また抜根耐力の方が, 根部諸量と力の相関が高い, ②データ数

(範囲)がまだ少ない(狭い)ためか、海岸黒松の胸高直径と根部深さの相関が不明確であることが判る。②は試験樹木の樹齢がほぼ同じということが一因している。

図-13~16に胸高直径 D 、水平力 F 、モーメント M と被害形態(持ち堪える(Withstanding): □, 倒伏(Lodging): ●, 抜根(Uprooting): ▲, 折損(Breaking): ◆)の関係を示す。図-13~15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-15には抜根耐力×力の載荷点高さ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。これらの図から、①平均的に抜根耐力($\sim 430D^{1.7}$) > 折損耐力($\sim 170D^{1.2}$) > 倒伏耐力であるが、胸高直径毎の上限耐力はどの被害形態でもほぼ同じである、②この上限耐力は *Sea Casuarina* の上限倒伏耐力の8割程度である、③抜根耐力が倒伏耐力より小さい場合が少なからずある、④平均的に折損モーメント(≒抜根時の仮想モーメント)($\sim 3500D^{3.2}$) > 倒伏モーメント($\sim 920D^{2.2}$)であることが判る。①と④の大小関係は現段階での最小二乗法による近似曲線結果に基づいている。②には試験データ(胸高直径)範囲の違いが原因しているかもしれない。③には地下水位を含めた地盤条件の他に、倒伏段階で横方向(地表面とほぼ平行方向)に張った主要な根の破断が理由として考えられる。

4. おわりに

本研究における現地試験の範囲で得られた主な結果は次の通りである。

- ①被害形態による被害条件の違いは力の観点よりもモーメントの観点でよりよく認められ、平均的に折損モーメント > 倒伏モーメントである。
- ②力の観点での被害形態による被害条件の違いは平均的に抜根耐力 > 折損耐力 > 倒伏耐力であるが、胸高直径毎の上限耐力はどの被害形態でもほぼ同じであった。
- ③各被害条件の普遍的表示は現段階では難しい。

今後とも荷重載荷点高などの条件を変える(図-16)とともに地盤条件を考慮した一層の現地試験が必要である。

謝辞: 科研費(基盤研究(C))(松富英夫)と北東北国立3大学連携推進研究費(堺 茂樹)の補助を受けた。現地試験では岩手県から御理解と御協力をいただいた。特に、農林水産部森林保全課 千葉一弘氏と宮古農林振興センター 多田広之氏にお世話になった。謝意を表す。

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, 土木学会論文集 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巻, 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, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. 301-305, 2011.

