

津波漂流物の捕捉機能を有する植栽の設計に関する検討

東北大学大学院 学生会員 林 晃大
 東北大学災害科学国際研究所 正会員 今井健太郎
 東北大学災害科学国際研究所 正会員 今村 文彦

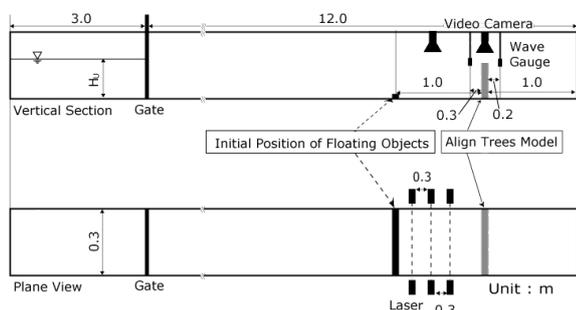


図-1 実験水路概要

表-1 実験条件

貯留水深 (H_U)	10, 12, 14 cm
漂流物種類	立方体 (1.5^3 cm^3)
	直方体 ($4.5 \times 1.5^2 \text{ cm}^3$)
漂流物個数	立方体:12,21,33,45,54,66,78,87,99
	直方体:4,7,11,15,18,22,26,29,33
漂流物初期位置	1 m
並木模型直径	0.4 cm
並木模型間隔	3 cm
並木模型列数	1

1. 序論

津波減災対策の一つとして、並木による漂流物捕捉機能を活用することは有効な手法と考えられる(首藤, 1985)。本研究は既往の津波漂流物捕捉効果の定量的知見(今井ら, 2012)と漂流物の流下条件を変化させた水理実験を実施し、さらに津波氾濫流に対する漂流物捕捉時の並木の倒伏限界を検討することで、沿岸部並木の津波減災施設としての適用性を明らかにすることを目的とする。

2. 水理実験

(1) 概要

既往研究(今井ら, 2012)では、並木諸条件と漂流物の形状特性に関する津波漂流物捕捉機能の定量評価を行っているが、流下漂流物群の条件を検討していない。そこで流下漂流物群の挙動を定量的に把握するべく水理実験を実施した。

図-1に実験水路概要、表-1に実験条件を示す。津波氾濫流はゲート急開流れで模擬した。漂流物捕捉割合 $R_C = N_C/N_A$ (N_C : 並木により捕捉された漂流物数, N_A : 全漂流物数) を定義した。漂流中の漂流物の群体規模について検討をするために漂流物群密度 $D_{fg} = s/(B \cdot L)$ (s : 漂流物群投影面積, B : 水路幅, L : 漂流物群の流れ方向の拡散長さ) を定義した。漂流物群の通過時間及び移動速度から評価した。

(2) 結果

図-2に D_{fg} と R_C の関係を示す。 L/W によるが D_{fg} が大きくなると R_C も大きくなる傾向にある。群体漂流物群が並

木間隔よりも大きくなり、並木に捕捉されやすくなるためであると考えられる。ただ、 D_{fg} が一定値に達すると R_C が頭打ちになることも確認された。図-3にフルード数 F_r と R_C の関係を示す。氾濫流速は漂流物群の移動速度と同程度と仮定した。全体的な傾向として、 F_r の増加にともなって R_C は減少していることが確認できる。

実験結果より、漂流物群条件を考慮した並木の津波漂流物捕捉機能に関する影響因子として D_{fg} 、津波外力、 L/W 、 F_r であることが考えられる。以上のパラメータ及び統計学的知見を基に、流下漂流物群条件を考慮した並木の津波漂流物捕捉機能に関する評価式を以下に示す。

$$R_{Ci} = 1/(1 + \exp(-\Phi_i)) \quad (1)$$

$$\Phi_i = -4.2(L/W)^{-0.37} (D_{fg})^{-0.11} (F_r)^{0.74} + 5.0 \pm \sigma \quad (2)$$

$= 1.03$, $R^2 = 0.77$, 有意水準 $p < 0.001$ である。既往の並木の津波漂流物捕捉機能の定量評価手法(今井ら, 2012)とあわせて、並木の津波漂流物捕捉機能の評価を行うことが可能となった。

3. 漂流物捕捉に伴う並木の物理限界評価手法と事例検証

津波漂流物を捕捉したときの並木の物理限界を検討する。津波漂流物を捕捉したときの樹木に作用する力を図-4, 5のように考える。対象とする樹種は黒松で、並木に捕捉された漂流物と漂流物によって排される流体から受ける力を樹木1本あたりについて想定している。漂流物の衝突力については、本稿では第2~3線の津波防災施設としての並木を想定した検証であるために考慮せず、静的な荷重のみ検討した。捕捉された漂流物群から並木全

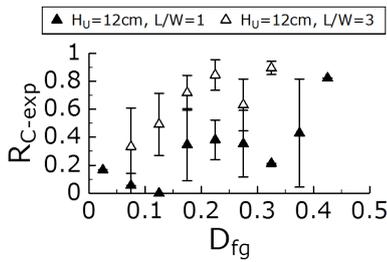


図-2 D_{fg} と R_C の関係

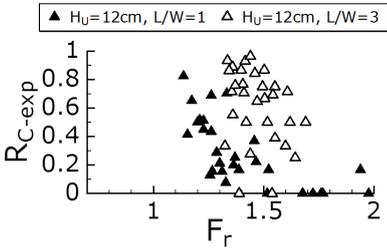


図-3 F_r と R_C の関係

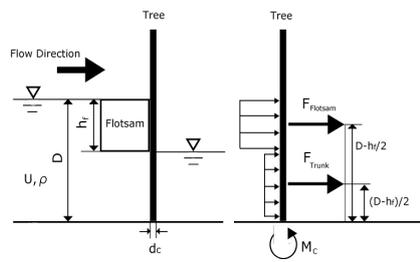


図-4 樹木にかかる倒伏モーメント($D > h_f$)

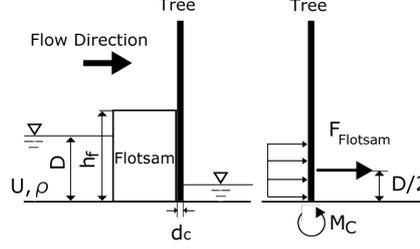


図-5 樹木にかかる倒伏モーメント($D \leq h_f$)



図-6 津波漂流物捕捉状況(多賀城市)

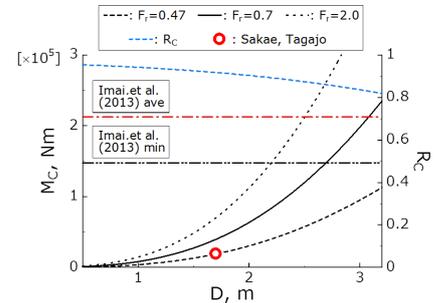


図-7 検証結果(多賀城市)

体に作用する力 $F_{Flotsam}$ を以下に示す。

$$F_{Flotsam} = \rho U^2 \cdot R_C A_{all} \quad (D > h_f) \quad (3)$$

$$F_{Flotsam} = \rho U^2 \cdot R_C A_{all} D / h_f \quad (D \leq h_f) \quad (4)$$

ρ は水の密度, U は代表流速, A_{all} は漂流物群の流向方向投影面積, h_f は漂流物高さである。漂流物の捕捉割合は A_{all} に反映すると仮定した。漂流物の投影面積について、設定した並木列に捕捉される漂流物の最大投影面積 A_{max} を予め設定し, $A_{max} \leq R_C A_{all}$ の場合, $R_C A_{all} = A_{max}$ とすることで、漂流物に捕捉される漂流物の量により投影面積が無限に増大しないようにする。

樹幹部に作用する流体力 F_{Trunk} を以下に示す。

$$F_{Trunk} = \frac{1}{2} \rho C_D U^2 \cdot d_c (D - h_f) \quad (5)$$

漂流物を捕捉したときの樹木の根部まわりのモーメントは式(6),(7)で表現される。

$$M_{C1} = \frac{1}{2} (D - h_f) F_{Trunk} + (D - \frac{h_f}{2}) F'_{Flotsam} \quad (D > h_f) \quad (6)$$

$$M_{C2} = \frac{1}{2} D F'_{Flotsam} \quad (D \leq h_f) \quad (7)$$

ここで $F'_{Flotsam}$ は樹木1本あたりにかかる $F_{Flotsam}$ である。

宮城県多賀城市における並木の津波漂流物捕捉事例(図-6)をもとに検証を行った。図-7は宮城県多賀城市栄2丁目における並木による津波漂流物捕捉事例にて確認された諸条件(表-2)をもとに、津波浸水深と漂流物捕捉に伴い並木に作用する倒伏モーメントの評価値及び並木の津波漂流物捕捉割合の変化を示した。図中の赤鎖線・黒鎖線は今井ら(2013)による黒松の倒

表-2 検証事例諸条件(多賀城市)

漂流物	乗用車(5.0 m × 2.0 m × 1.5 m)
流況	$F_r=0.47, 0.7, 2.0$
並木間隔	3.6 m 間隔1列
並木直径	0.37 m
R_C 条件	$D_{fg}=0.1$
浸水深	1.7 m

伏限界モーメントの評価値($M_C = \beta \sigma_b W$, β : 群生環境係数(= 1.51 ± 0.46), $\sigma_b = 29.0 \text{ N/mm}^2$, W : 断面係数(= $\pi d_c^3 / 32$))を示す。図-7から、当該地域の並木は倒伏せずに多くの漂流物を捕捉可能と示し、概ね現地の状況と合致していることが確認できる。

4. 結論

本稿で得られた結果を以下に示す。①並木・漂流物群各諸元から並木の津波漂流物捕捉機能を定量的に明らかにする評価手法を提案した。②上記の定量評価手法を用いて、津波漂流物捕捉時に並木に作用する倒伏モーメントを提案した。③倒伏モーメントの評価手法を用いて、津波漂流物捕捉事例の検証を行い、本評価手法の適用性を確認した。

参考文献

- 首藤伸夫(1985): 第32回海岸工学講演会論文集, pp.465-469.
- 今井健太郎, 林晃大, 今村彦彦(2012): 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, I.401-I.405
- 今井健太郎, 原田賢治, 南幸弘, 川口誠史, 二宮栄一(2013): 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, p.I.361-I.365, 2013.
- 国土地理院(オンライン): 平成23年東北地方太平洋沖地震による被災地の空中写真, <http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiyo-hr/index.html>, 参照5-12-2012