

氏名	METHSIRI BANDARA SAMARAKOON
博士の専攻分野の名称	博士 (学術)
学位記号番号	博理工甲第 853 号
学位授与年月日	平成 23 年 9 月 16 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Development of effective vegetation bioshield for tsunami mitigation and the estimation of potential damages to vegetation due to flooding (津波減災のために有効な植生バイオシールドの構築ならびに樹木破壊に与える浸水影響の評価)
論文審査委員	委員長 教授 田中 規夫 委員 教授 小松登志子 委員 教授 佐々木 寧 委員 准教授 川本 健

論文の内容の要旨

In the whole PhD research, the potential capability of coastal vegetation as a natural barrier against tsunami and the effects on the river vegetation due to flooding were investigated in Sri Lanka and Japan, respectively. A field survey was conducted at Eastern coastline of Sri Lanka to study the present situation and the effectiveness of coastal vegetation against the tsunami. In addition, field experiments were conducted at the floodplains of Arakawa and Komagawa Rivers in Japan to investigate the limitation of the trees under severe flooding conditions. The following paragraphs describe the summary of the results of each investigation.

In Chapter 3, the effectiveness of coastal vegetation against tsunami was investigated. Open gaps in *C. equisetifolia* forests were identified as a disadvantage, and introduction of a new vegetation belt in front or back of the existing *C. equisetifolia* forest is proposed to reduce the disadvantages of the open gap. Among the many plant species encountered during the field survey, ten species were selected as effective for tsunami disaster mitigation. The selection of appropriate vegetation for the front or back vegetation layer was based on the vegetation thickness per unit area (dN_u) and breaking moment of each species. A numerical model based on two-dimensional nonlinear long-wave equations was applied to explain the present situation of open gaps in *C. equisetifolia* forests, and to evaluate the effectiveness of combined vegetation systems. The results of the numerical simulation for existing conditions of *C. equisetifolia* forests revealed that the tsunami force ratio (R =tsunami force with vegetation/tsunami force without vegetation) was 1.4 at the gap exit. The species selected for the front and back vegetation layers were *Pandanus odoratissimus* and *Manilkara hexandra*, respectively. A numerical simulation of the modified system revealed that R was reduced to 0.7 in the combined *P. odoratissimus* and *C. equisetifolia* system. However, the combination of *C. equisetifolia* and *M. hexandra* did not effectively reduce R at the gap exit. Therefore, *P. odoratissimus* as the front vegetation layer is proposed to reduce the disadvantages of the open gaps in existing *C. equisetifolia* forests. The

optimal width of *P. odoratissimus* (W_1) calculated from the numerical simulation was $W_1=10$ m. R at the exit of a 15-m-wide open gap was 0.8, and therefore the proposed system was appropriate for cases with the highest velocity at the gap exit as well. Establishment of a new front vegetation layer except for open gaps that are essential, such as access roads to the beach, is proposed.

In Chapter 4.1, effects of local scouring (full) and saturation of the soil in the root-anchoring zone due to flooding were investigated on *R. pseudoacacia*, an exotic and invasive plant in Japanese rivers. Scouring has been defined as the removal of substrate in the root-anchoring zone, exposing the tree roots. Tree pulling experiments were conducted, simulating flood action, and the resulting damage was examined in order to assess the effect of local scouring on the M_{max} for overturning.

Scouring was artificially created to three different depths, 0 cm, 25 cm, and 50 cm. A non-linear model was developed including soil strength characteristics to calculate the critical overturning moment (M_{crit}) under dry and saturated soil conditions. Significant correlations ($p<0.05$) of M_{max} with different tree and root-soil plate characteristics, such as diameter at breast height (D_{bh}), tree weight, root depth, and root-soil plate radius, were developed in order to elucidate the effects of scouring on M_{max} . M_{max} was slightly reduced with scouring depth for trees with $D_{bh} < 10$ cm (small) trunks, and it was significantly and negatively ($p<0.05$) correlated with scouring depth for trees with $10 < D_{bh} < 20$ cm (medium) trunks. However, M_{max} was not changed significantly with scouring depth for trees with a $D_{bh} > 20$ cm (big) trunks. The non-linear model was pertinent to determine the M_{crit} of *R. pseudoacacia* under dry and saturated soil conditions. The overturning moments of all (small, medium, and big) trees were considerably reduced under the saturated soil condition. It could be concluded that medium-size trees were largely affected by scouring, and small and big trees were mainly affected by saturation of the soil under severe flooding conditions.

In Chapter 4.2, effects of root architecture, physical tree characteristics, and soil shear strength on overturning moment due to flooding were investigated using *S. babylonica* and *J. ailanthifolia*, exotic and invasive plants in Japanese rivers. Tree pulling experiments that simulated flood action were conducted, and the resulting damage was examined in order to assess the effects of physical tree characteristics and root architecture on the M_{max} for overturning. In situ soil shear strength tests were conducted in order to measure soil strength parameters. The effects of species differences on the M_{max} were examined by analysis of the root architecture. *S. babylonica* has a heart-root system that produces a greater overturning moment due to the strong root anchorage and the large amount of substrate that must be mobilized during overturning. *J. ailanthifolia* has a plate-root system that produces a smaller overturning moment. However, trees with the plate-root system may withstand overturning better due to an increased root:shoot ratio. The results of the study show that the M_{max} of a tree for overturning had significant ($P < 0.05$) correlations with a tree's physical characteristics, including the tree height (H), D_{bh} , D_{bh}^2 , height multiplied by the second power of D_{bh} (trunk volume index: $H \cdot D_{bh}^2$), and root-soil plate depth and radius. Considering the strategy of *J. ailanthifolia* to increase the root:shoot ratio for anchoring in the substrate, the trunk volume index (height $\cdot D_{bh}^2$) is a better parameter than D_{bh}^2 because it indirectly involves the difference in belowground volume and surface area. Different soil cohesion values were found at different experimental sites, and the average M_{max} for overturning each species decreased linearly with increasing soil cohesion.

In Chapter 4.3, the removal of soil in the root anchoring zone by means of local scouring and river bank erosion

due to flooding were investigated on *R. pseudoacacia*, an exotic and invasive plant in Japanese rivers. Tree pulling experiments were conducted, simulating flood action, and the resulting damage was examined in order to assess the effect of local scouring and river bank erosion on the M_{max} for overturning. Data was analyzed by dividing the trees into two groups at each model scouring and river bank erosion conditions in such a way that $D_{bh} < 15$ cm (small trees) and $D_{bh} > 15$ cm (large trees). Local scouring and river bank erosion were modeled artificially in to four different mechanisms. The M_{max} of large trees was not changed with local scouring and bank erosion conditions due to greater rooting depth. In the case of small trees, bank erosion condition has significant effects on overturning moment of trees than the local scouring condition. The removal of substrates at compressive side of the root-soil plate results in lesser M_{max} values since both compressive strength of soil and resistance strength of roots are decreased by removing substrates. The M_{max} of large trees could be expressed as a function of D_{bh}^2 .

論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、平成 23 年 7 月 22 日に論文発表会を開催し、論文内容の発表に続いて質疑と論文内容の審査を行なった。以下に審査結果を要約する。

海岸林の津波被害軽減機能の効果については、1998 年のパプアニューギニア地震津波や 2004 年のインド洋大津波に際して再認識され、熱帯の開発途上国における有力な津波対策の一つとして注目されている。近年、熱帯性海岸樹による津波の軽減を対象とした多くの数値計算が行われ、その効果が樹林幅、樹木密度、陸面勾配について解明されつつある。このように、樹林帯のもつ長所についての研究は進んできたものの、有限幅の樹林帯が作り出す負の側面、たとえば樹林帯周辺や樹林帯の切れ間に加速領域を作ることについての知見が十分ではない。そのため、加速域を作り出す危険な樹林帯がインド洋大津波後も構築されている箇所がある。また、津波により破壊されて流木化し構造物に危害を加えるなど、樹林帯としての機能の限界が負の影響を及ぼす場合がある。そうした流木の発生条件について、現状では十分な知見が得られているとは言い難い。樹木の破壊は様々な要因によって変化するものの、樹木の基盤が水浸しになっている条件や、洗掘されている条件下での知見は皆無に等しい。本論文ではそうした点を定量的に解明するため、現地観測、現地実験と数値実験により深く研究を行ったものである。なお、スリランカ国内で樹木を倒すような実験はできないため、基礎的な知見を得るための現地実験は荒川に生えて問題となっている外来樹種で行っている。

第 3 章ではスリランカの東海岸の植林状況ならびに自然植生について、現状の植生バイオシールドの機能を正しく評価するための調査を行い、海岸林の有効性と今後の方向性について調査し提案を行っている。調査範囲は Kalmunai から Kokkilai までの約 230km、30 箇所にも及ぶ。申請者はこの区域において、代表的な樹木の樹高、胸高直径、樹林密度などの調査を行い、樹林帯としての力学的機能を評価している、また、樹木の持続的管理という視点から樹木の利用方法や、地元住民の海岸林に対する意識について、ヒアリング調査を行っている。そうした調査に基づき、調査範囲における植林樹種は主にモクマオウであるが、それ以外の植生も含め、海岸線の土地利用など基本的なランドスケープごとの植生バイオシールドの基本形について、提案を行っている。またモクマオウ林については、樹林帯の隙間や周辺に生じる加速流の実態について数値計算を行い、その負の影響を緩和するための方法（前方、後方に別の樹種を植栽し複相林とすること）について適した樹林幅の提案を行い、その効果を定量的に評価している。

第 4 章では、樹木の外力による破壊条件について、基礎的な知見を得ている。その破壊形態は、倒伏や破断（主幹へのダメージ）、転倒に大別されるが、流木化する可能性のある破壊形態は転倒であり、その破壊を表現する変数がいくつか報告されている。大別すると、1) 樹木の地上部特性（樹高、胸高直径、重量等）、2) 樹木の地下部特性（根鉢の深さや直径、根茎の構造）、3) 樹木繁茂地点の地盤強度が挙げられている。一方、「樹木管理の手引き（旧建設省）」では、日本全国の河川での様々な樹種に対する引き倒し実験をもとに、樹木の転倒限界モーメントに関する平均値式と下限値式を提案している。ここで提案されている式は河川内の樹木管理の際に用いられることが多い。しかしながら、樹種、地盤強度、浸水条件、洗掘による相違については明確な傾向は見出されていない。そこで、申請者は、荒川下流域の高水敷上や高麗川に繁茂した樹木を対象とし、樹種（地上部・地下部特性）による相違、場所（地盤強度）による相違、局所洗掘に注目して、樹木の引き倒し試験を行い、転倒限界モーメントに関する知見を深めるとともに、限界式の精度向上を図った。実験後は引き倒された樹木の地下部の構造を詳細に調査した。そのため、従来の研究では不明であった

根の構造と破壊限界について様々な知見が定量的に明らかにされている。荒川での実験より, 1) $H \times D_{bh}^2$ (地上部の体積に相当) が転倒限界モーメント M_{max} を精度良く表現するパラメータであること, 2) 根茎構造 (浅根型, 深根型) の相違による根鉢のサイズ (根鉢の表面積および体積) が転倒限界モーメントに大きく影響していること, 3) 転倒限界モーメントには地盤の粘着性とそれに伴う根の構造の変化が大きな影響を与えること, を明らかにし, また, 高麗川の実験で, 4) 胸高直径を 10cm 以下, 10-20cm, 20cm 以上の 3 クラスに分けた場合には, 局所洗掘は 10-20cm クラスにもっとも影響を与えることを根の構造モデル解析により明らかにした。

以上のように, 本研究は, 現地調査, 水理模型実験, 数値解析をもとに, スリランカ東海岸の海岸林の現状評価ならびにランドスケープごとの海岸林構築に対する提案を行っていること, 防潮を目的として構築されている海岸林の隙間構造の持つ負の効果を定量評価しその緩和策を提案していること, 樹木破壊のメカニズムに基づく定量的な限界値を評価していることなど, 当該分野において重要な示唆を与えている。このことから, 当学位論文審査委員会は, 本論文が博士 (学術) の学位に相応しい内容であると判断した。

なお, 本論文の内容は, 国際学術誌 Landscape and Ecological Engineering に 1 本が掲載され, 他 1 本が受理されている。