

氏名	野田 龍 ^{のだ りゅう}
授与学位	博士（生物資源科学）
学位授与年月日	平成27年 3月20日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科専攻	秋田県立大学大学院生物資源科学研究科 博士後期課程 生物資源科学専攻
学位論文題目	木製治山ダムの強度、耐久性および環境影響評価 に関する研究
指導教員	教授 佐々木 貴信
論文審査委員	主査 教授 佐々木貴信 副査 教授 林 知行 准教授 永吉 武志 特別 東京農工大学教授 石川 芳治

論文内容要旨

【研究の背景と目的】

治山ダムは豪雨時などの土砂災害を未然に防ぐため、溪流の荒廃を防止することを目的として設置される。通常、治山ダムはコンクリート製か鋼製のものが一般的であるが、秋田県では木材利用の拡大や環境負荷の低減を目的として、木材を主部材とした木製治山ダムの開発が2000年頃から始まった。以来、これまでに建設された木製治山ダムは80基を超す。全国で一般的に建設される木製治山ダムは枠ダム型（図1左）と呼ばれるもので、その構造形式は、ボルト等で連結された木製枠の中に中詰材としてφ150mm～200mm程度の玉石や割栗石等を充填した重力式構造となっている。秋田県においても枠ダム型の木製ダムが30基以上建設されてきたが、枠ダム型は堤体の体積に占める木材使用率の割合が15～20%程度にすぎず、大幅な木材利用の需要拡大までは期待できないこと、使用する部材寸法が秋田県で需要が期待される木材の寸法と必ずしも一致しないこと等から、秋田県の現状に即した新たな木製ダムの開発が求められていた。

このような背景の下、秋田県では2つのタイプの木製治山ダムの開発が行われた。その一つは、建築資材等としても需要の低い末口径300mmを超える大径材から製材した大断面の角材を主要部材として使用したもので、中詰め材を使用しないオールウッドタイプの堤体構造（図2左）である。このオールウッド型木製治山ダムの木材使用率は90%以上になる。もう一つは、森林整備により発生する中・小径の本数調整伐材を鋼製枠の中に詰め込んでいくハイブリッドタイプの構造であり、このハイブリッド型木製治山ダム（図2右）の木材使用率は80%以上に達している。

これら2つの木製治山ダム（オールウッド型、ハイブリッド型）は従来の枠ダム型に比べ、1施設あたりの木材使用量が5～7倍と大きい。また、需要の少ない径級の丸太や、低価値で安価な間伐材から製材した木材を使用することで、秋田県産スギ材の有効利用かつ地場の製材業や建設業など地域の活性化に貢献している。一方、木製治山ダムは、一般的なコンクリート製や鋼製の治山ダム比べてコストが高いことや、古いものでも10数年しか経過しておらず、耐久性に関するデータが少なく将来の維持管理手法が確立していないこと、コンクリート製から木製に代替することの環境影響評価がなされていないなど、解決すべき課題も多い。

そこで本研究では、コスト縮減型オールウッド型木製治山ダムの開発を行うとと

もに、これまでに設置された木製ダムを対象に健全度調査を実施し、今後の維持管理手法の確立に資するデータの蓄積を行った。また、木製とコンクリート製、鋼製の各ダムに関するライフサイクルにおける CO₂ 排出量とコストを算出し、環境面や経済性の評価を行った。

【実験方法】

(1)オールウッド型木製治山ダムの強度性能

コスト削減型のオールウッド型木製治山ダムの開発では、材料費の 20%以上を占めている接合具（ラグスクリュー）を安価な異形棒鋼へ代替することを考え、部材強度試験と実大載荷試験により性能を検討した。部材強度試験では、面圧試験のほか、一面せん断試験（図 3）と引き抜き試験（図 4）を行った。試験体には秋田県産スギ心持ち材（幅 300mm、高さ 300mm、奥行き 225mm）と接合具として異形棒鋼（材質；SD295A、呼び径：D16、L=500mm）およびラグスクリュー（材質；SWRCH10、φ16mm、L=460mm（ねじ部 170mm、頭部座金含む））を用いた。接合具の主材への打ち込み深さは、オールウッド型木製治山ダムの施工現場で実際に採用されている 200mm に加え、150mm と 100mm の計 3 種類とし、接合具の先孔は、現場で採用されている φ15mm とした。せん断試験は、主材に対して繊維平行方向加力（側材が繊維直交方向）、繊維直交方向加力（側材が繊維方向）のそれぞれについて行った。

(2)オールウッド型木製治山ダムの腐朽調査

既存施設を対象にした腐朽調査では、秋田県内と熊本県内に設置されたオールウッド型木製治山ダム計 7 地区 11 施設について、目視観察のほか、ピロディン打ち込み試験および応力波伝播速度測定による劣化調査を行った。測定箇所は放水路及び袖部の天端材とした。天端材を測定対象としたのは、オールウッド型木製治山ダムの堤体は単材を上下流方向および左右岸方向に交互に積み重ねて構築されているため、腐朽がより進行しやすく、堤体に何らかの損傷が起こる可能性が高いためである。

(3)木製治山ダムの環境影響評価および経済性

コンクリート製や鋼製を木製に代替した際の環境面や経済性を評価するため、木製（オールウッド型、ハイブリッド型）とコンクリート製、鋼製の各ダムについて、ライフサイクルにおける CO₂ 排出量とコストを算出し、比較検討を行った。機能単位を揃えるために、同一場所で同量の土砂抑止量を想定した設計を行い、使用する材料や施工に係る諸数量を算出した。CO₂ 排出量の評価の対象とした範囲は、材料や燃料の生産（材料・燃料生産過程）から建設（建設過程）、維持管理（維持管理・補修過程）までの各過程とし、各過程における化石燃料消費由来の CO₂ 排出量を算出した。コストは施設を建設するのに必要な材料費と施工費を算出し、直接工事費として評価を行った。

【考察】

(1)オールウッド型木製治山ダムの強度性能

せん断試験結果（図 5）では、せん断耐力は接合具種、打ち込み深さに関わらず、主材に対して繊維直交方向加力の方が繊維平行方向加力よりも低くなることが明らかとなった。異形棒鋼とラグスクリューで比較すると、打ち込み深さ 100mm の降伏せん断耐力はラグスクリューの方が異形棒鋼よりも大きい。今回の試験結果では、打ち込み深さを 150mm 以上とすれば、ラグスクリューよりも異形棒鋼の方が降伏せん断耐力が高いという結果になった。この結果は異形棒鋼とラグスクリューの降伏点の違いによるものと考えられる。異形棒鋼の降伏点 295N/mm² に対し、ラグスクリューの降伏点は 270N/mm² である。この差が降伏せん断耐力の差となって表れたものと考えられる。つまり、せん断性能の点では異形棒鋼はラグスクリュー

一よりも性能が優れていると言える。

引き抜き試験結果（図 6）では、すべての打ち込み深さで異形棒鋼よりもラグスクリューの方が最大引き抜き荷重は大きく、引き抜き性能の点では異形棒鋼はラグスクリューより劣る。打ち込み深さが深くなるにつれ最大引き抜き荷重はばらつきが大きくなり、特にラグスクリューでその傾向が強い。この要因として、ねじ部と木部組織の噛み合わせによる影響が考えられる。異形棒鋼では表面に凹凸が少ないため、ずり抜けるようにして引き抜かれる（図 6 右）。一方、ラグスクリューではねじ部が木部組織にねじ込まれるようにしてくい込むことによって、木部組織を破壊しながら引き抜けることが考えられる。

(2) オールウッド型木製治山ダムの腐朽調査

現地調査の結果、腐朽は常時水の供給がある放水路部よりも乾湿を繰り返す袖部で進行していることが明らかとなった。構造上重要な放水路部はいずれの施設においても常水状態にあり、腐朽は軽微であった。施工後 10 年以上を経過した施設についても安定性に影響があるような劣化は認められなかった。ピロディン値（図 7）では、袖部に比べ放水路部の方がばらつきは小さい。経過年数に着目すると、袖部では年数の経過に伴いピロディン値が大きくなり、経年とともに劣化が進行する傾向が伺えるが、放水路部では経年による傾向は認められなかった。伝播速度（図 8）では、常時水に浸かっている放水路部で含水率（密度）が高く、伝播速度は小さくなっている。放水路部の伝播速度値のばらつきは概ね一定の値を示しているのに対し、袖部ではばらつきが大きい。

ピロディン値および伝播速度において袖部でばらつきが大きく、放水路部でばらつきが小さいのは、雨水等によって乾湿が繰り返される袖部よりも放水路部は常水があり酸素の供給が妨げられるため、腐朽が進行せず健全な状態を保っていることと、腐朽の進行や部材の含水率に差が生じにくいいためと考えられる。

(3) 木製治山ダムの環境影響評価および経済性

治山ダムの各過程における化石燃料消費に伴う CO₂ 排出量は、オールウッド型木製が最も少なく、ハイブリッド型木製、鋼製、コンクリート製（型枠なし）、コンクリート製（型枠あり）の順に多くなった（図 9）。コンクリート製および鋼製をオールウッド型木製に変更することで、それぞれ 52%～54%と 25%の CO₂ 排出削減効果が得られることが明らかとなった。ライフサイクルの各過程ごとにみると、いずれの治山ダムも材料・燃料生産過程での CO₂ 排出量が最も大きく、オールウッド型木製では全体の 75%、その他の治山ダムでは全体の 90%以上を占めている。

直接工事費では、コンクリート製（型枠なし）がもっとも安価であり、コンクリート製（型枠あり）、ハイブリッド型木製、鋼製、オールウッド型木製の順に高くなった（図 10）。オールウッド型木製はコンクリート製（型枠あり）の 2.4 倍程度で、ハイブリッド型木製と鋼製は同程度であった。オールウッド型木製では、直接工事費に占める材料費の割合が約 80%に達しており、資材の調達に係る費用が直接工事費を押し上げる要因となっている。コスト削減の可能性を検討した結果、接合具をすべて異形棒鋼に代替することで、直接工事費を 10%以上削減することが可能であることと、接合具をすべて異形棒鋼に代替した上で、建設現場周辺の林地で伐採した原木をその場で製材、加工し、木製治山ダムの部材に活用するオンサイト生産システムを用いれば、現状の 70%程度までコスト削減が可能であることが明らかとなった。しかし、いずれもコンクリート製に比べると 1.5 倍以上のコスト高となっており、施工方法も含めて、さらなるコスト削減対策が必要である。

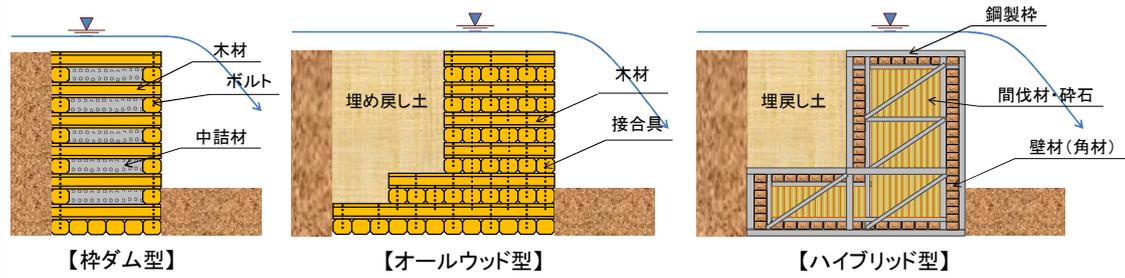
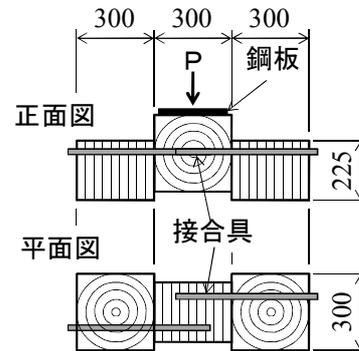
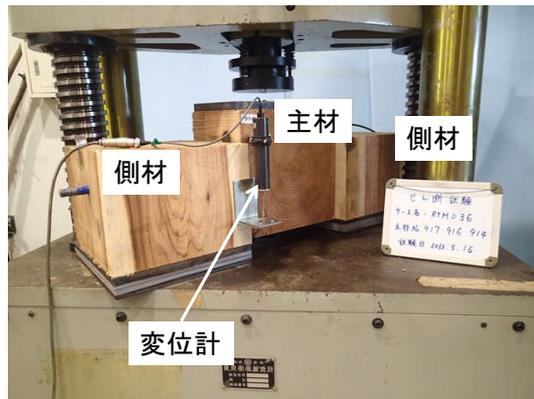


図 1 木製治山ダム (断面図)



図 2 オールウッド型木製治山ダム (左) とハイブリッド型木製治山ダム (右)



繊維直交方向加力 (側材が繊維方向)

図 3 せん断試験 (単位 : mm、打ち込み深さ 200mm)

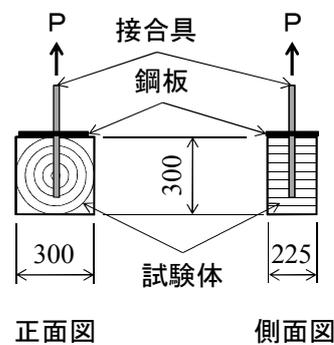
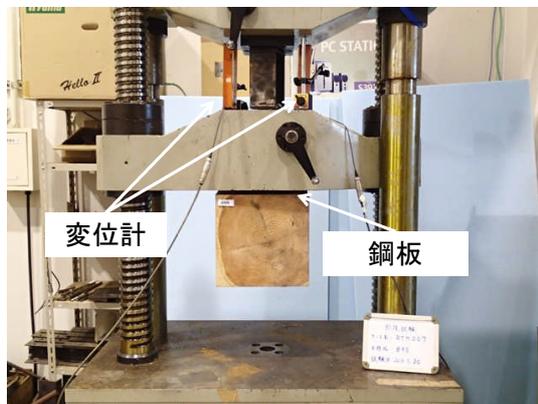


図 4 引き抜き試験(単位 : mm)

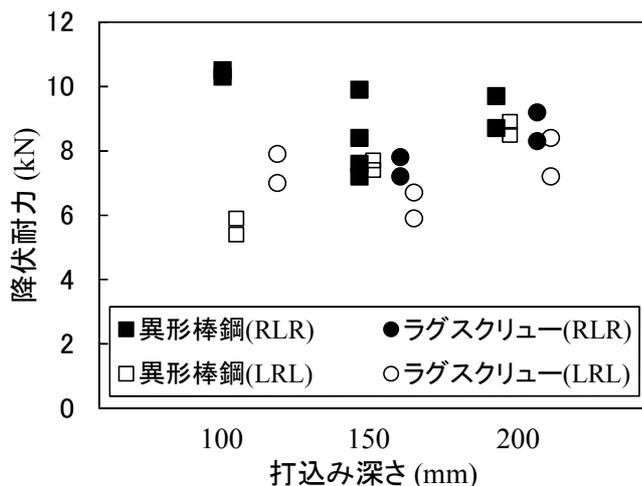


図5 打ち込み深さ別の降伏耐力
注：RLRは繊維平行方向加力、LRLは繊維直交方向加力を表す。

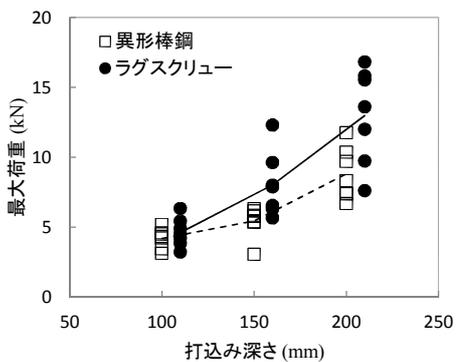


図6 打ち込み深さ別の最大引き抜き荷重(左)と試験後に付着した木くず(右)

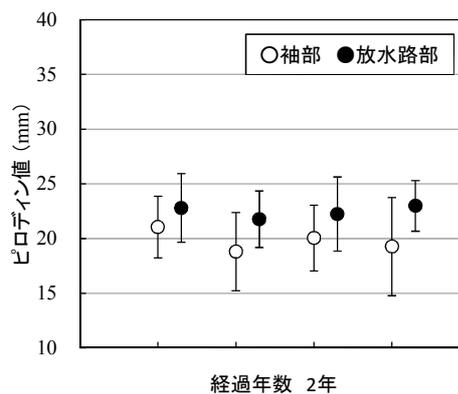
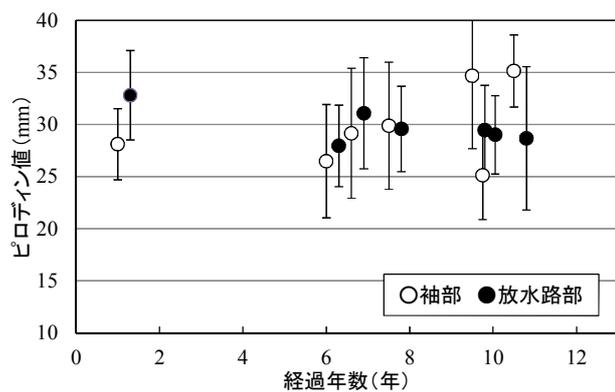


図7 部位別のピロディン値(左；秋田県内、右；熊本県内)
○、●：平均値、エラーバー：標準偏差の幅

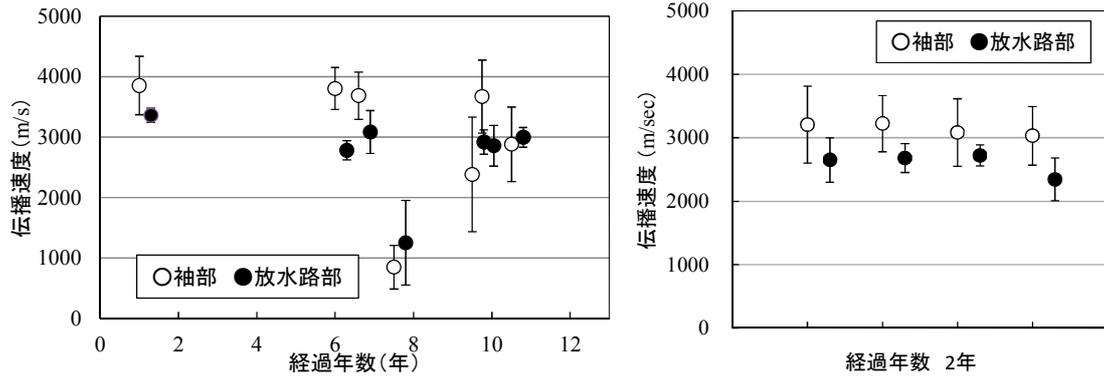


図8 部位別の伝播速度 (左；秋田県内、右；熊本県内)
○、●：平均値、エラーバー：標準偏差の幅

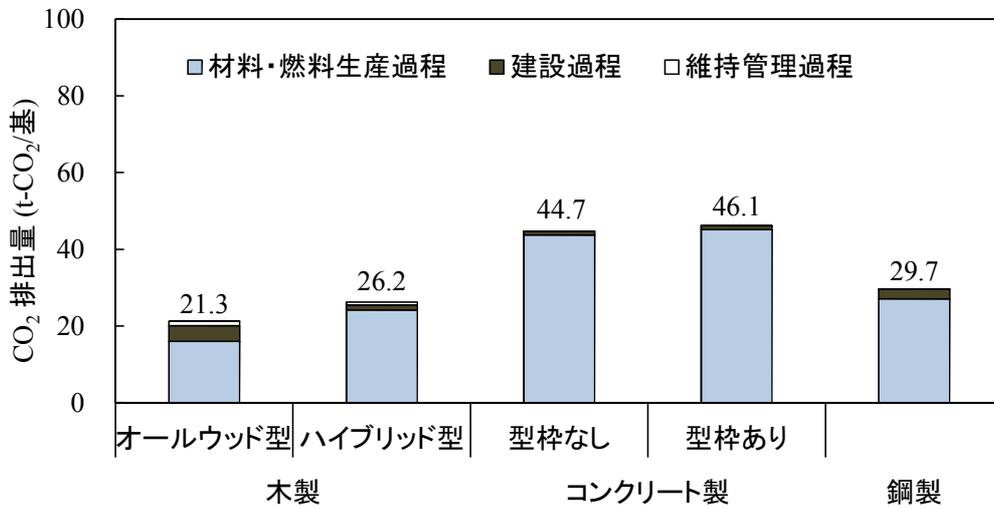


図9 各治山ダムのCO₂ 排出量

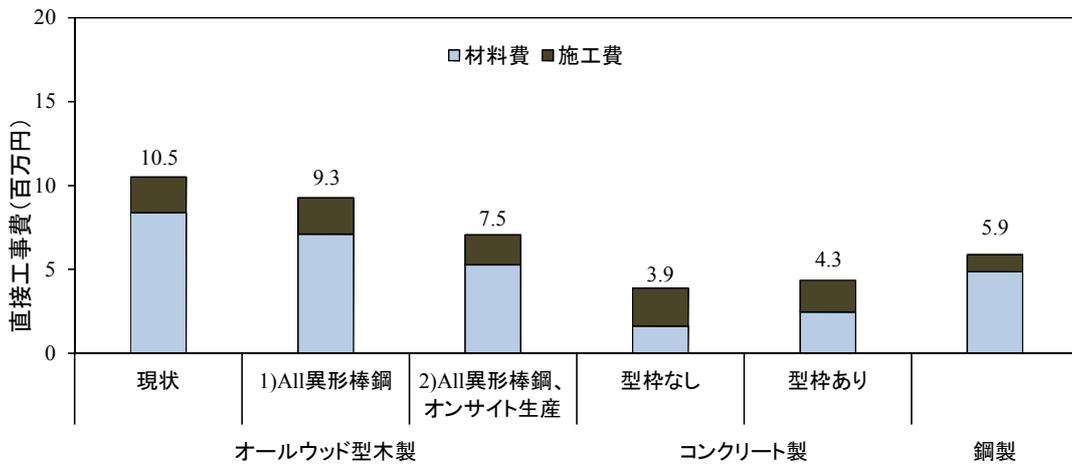


図10 各治山ダムの直接工事費

論文審査結果要旨

本研究は森林環境の保全を目的として建設される治山・砂防構造物を対象としたテーマであり、主に森林土木分野の研究である。

森林内には豪雨時などに土砂災害を未然に防ぐ目的で溪流の流れを緩やかにするために「治山ダム」という構造物が設置される。治山ダムはコンクリート製か鋼製のものが一般的であるが、木材利用の拡大を目的として、秋田県農林水産部では県産スギ材でつくる治山ダムの検討を平成13年から始めた。野田氏は、このときから現在まで、設計コンサルタントの立場で、秋田県の木製治山ダムの研究開発に主体的に携わっており、その成果は県内の民有林に建設された多数の木製治山ダムに反映されている。

本研究では、この秋田県独自の木製治山ダムを対象として、安全性や耐久性、経済性、環境影響評価などを総合的に検討し、木製治山ダムの有効性及び改善すべき課題の整理を行い、経済性を考慮した工法の改良の提案と実験による検証、耐久性の実態調査と健全度評価、環境影響の定量的評価を行った。

その結果、鋼製やコンクリート製ダムに対する木製治山ダムの環境優位性や、既設の木製ダムの劣化調査から健全度の実態を明らかにした。また、コンクリート製に対して経済性は劣るものの、木製ダムのコスト縮減を可能にする改良策を提案し、検証実験により改良タイプの木製ダムの安全性とコスト削減効果を示した。その研究成果は砂防学会、日本木材学会、土木学会の査読付き論文集に掲載され、在学期間中に多数の業績をあげた。これらの成果は学位論文としてまとめるだけでなく、秋田県の木製治山ダムの設計施工マニュアルとしても編集する計画である。

発表会は平成27年2月18日に行われ、秋田県農林水産部など関係機関からも多数の聴講者があるなか、研究成果を丁寧に分かりやすく発表した。砂防、水利、木質材料、木質構造をそれぞれ専門とする審査委員からの多様な質疑に対して適切に答え、会場内からの貴重な意見に対しては、今後の研究に活かす考えを示した。

以上より、本論文は審査基準を十分に満たし、博士の学位を授与するに妥当であると判断した。