

資料

木製治山ダムの劣化に及ぼす諸要因の検討

和多田友宏・臼田寿生・土肥基生

キーワード: 木製治山ダム, 劣化, 気温, 流水, 心・辺材, スギ・ヒノキ

I はじめに

木製治山ダム(以下, 木製ダム)は, 山地の溪床に緩勾配で堆積する不安定土砂を固定して溪流の縦横侵食を防止し, 溪床の安定を図ることを目的として施工され, 主として木材と石材により構成される構造物のことである。木材は製材時の化石燃料消費量がコンクリートの製造時に比べて少ない(土木学会 2011)。したがって木製ダムは, コンクリート製ダムより二酸化炭素の排出削減効果が得られる。このため全国的な普及が期待されているが, 木製ダムの施工は一部地域に限定されているのが現状である。その理由として, 木製ダムは使用する木材の種類や設置される場所の環境条件によって木材の劣化(腐朽・虫害)程度にばらつきが大きく, 耐久性が明らかでないことが挙げられる。木製ダムを普及するには, 木製ダムに使用された木材の耐久性を明らかにすることが有効と考える。

木製ダムの劣化に関する研究は, これまで石川ら(2003)がカラマツ材について, 施工後17年経過した木製ダムで劣化厚の調査や曲げ強度試験を行い, 常時流水の影響がある木製ダム本体部ではほとんど劣化しないことを明らかにした。全国の幅広い地域で採用されているスギ材については, 臼田ら(2014)が, 年平均気温15.2℃以下の地域において劣化状況の調査を行い, 放水路上に流水があった本体部の部材は袖部に比べて劣化が進んでいなかったことを報告している。しかし, 全国の幅広い地域の木製ダムを対象としたスギ材の劣化についての報告はなく, さらにスギ, カラマツに次いで木製ダムの施工実績があるヒノキ材では, これまで劣化状況が報告されていない。

木製ダムの耐久性を明らかにするためには, 木製ダムの劣化状況を把握する必要がある。曲げ試験のための部材撤去など施設の大幅な改変を伴わない方法では, 臼田ら(2014)と同様に, 既存の木製ダムの劣化厚を測定することが最も有効であると考えられる。本研究では, スギ材, ヒノキ材の劣化厚を調査することにより, 木製ダムの施工後の経過年数, 木製ダム内の木材の設置位置, 木製ダム設置箇所の気温条件, 木材の加

工形態, 木材の種類といった要因が, 木製ダムに使用された木材の劣化に与える影響を明らかにすることを目的とした。

II 調査地と調査方法

調査対象は, ダムの部材として用いられた防腐処理をしていないスギ材またはヒノキ材とした。調査地は, この条件に適合する木製ダムを秋田(2013)の報告にある全国の施工箇所から選定した。このうち, スギ材を使用した木製ダムは, 年平均気温10.0℃以下の地域で最も施工実績の多い秋田県内で4箇所(4基), 10.0~15.0℃の範囲の地域から岐阜県内で7箇所(7基)および全国で最もスギ材の木製ダムの実績の多い京都府内で4箇所(5基), 15.0℃以上の地域で最も実績の多い鹿児島県内で4箇所(8基)の計19箇所(24基)とした。ヒノキ材を使用した木製ダムは, 岐阜県内の1箇所(1基)および全国で最もヒノキ材の木製ダムの実績が多い大阪府内の2箇所(6基)の計3箇所(7基)とした。調査地の概要を表-1, 2に示す。

ダムのタイプは, 木材を枠状に組み, 中詰材として石材を用いた「ラムダ型」と「台形型」の2タイプ(林野庁 2009)である。調査は2012年11月から2014年11月にかけて実施し, 施工からの経過年数は施工年月日と調査年月日から0.5年単位で算出した。なお, 「平均気温」は, 気象庁の最寄りの観測施設における平年値(気象庁 2014)を, 観測施設と現地との標高差で補正した値で, 観測施設に対し現地の標高が100m上がると0.6℃低下する(社団法人日本治山治水協会 2009)ものとして補正した。

測定位置は, 放水路の中心とそこから右岸および左岸側へそれぞれ0.5m, それ以降は1m間隔で配置し, これに加えて, 地際付近と放水路の端部から0.1m山側に配置した(図-1)。部材の劣化部の厚さを劣化厚とし, 下流側の露出している横部材を対象に劣化厚を測定した。なお, 測定は下流側の部材の表面から上流方向へ行い, 劣化部の測定範囲は, 部材の中心部付近までとした。

劣化厚の測定は, 穿孔抵抗試験器(レジストグラフ;

表-1. 調査地の概要（スギ材）

施工年度	経過年数	施工箇所	基数	タイプ	丸棒加工	越流※1	流域面積 (ha)	標高 (m)	平均気温 (°C) ※2	年間降水量 (mm)
1998	15.0	鹿児島県霧島市	3	台形	無	無	54.1	208	16.3	2491
1999	14.0	鹿児島県霧島市	1	台形	無	無	54.1	222	16.2	2491
2000	12.5	京都府舞鶴市	1	台形	無	無	7.7	90	14.0	1827
2001	11.5	秋田県鹿角市	1	ラムダ	無	有	47.9	550	7.2	1970
2001	11.5	京都府舞鶴市	1	台形	有	無	7.3	90	14.0	1827
2002	11.0	京都府舞鶴市	2	台形	有	無	6.6	90	14.0	1827
2002	11.0	京都府福知山市	1	台形	有	無	19.3	320	12.5	1543
2003	10.0	鹿児島県出水市	3	台形	無	無	4.1	99	16.8	2057
2004	10.0	岐阜県美濃市	1	台形	無	無	11.2	180	13.9	2153
2003	9.5	秋田県鹿角市	1	ラムダ	無	有	59.9	490	7.5	1970
2003	9.0	岐阜県揖斐川町	1	台形	無	無	12.8	100	14.9	2491
2004	8.5	秋田県小坂町	1	ラムダ	無	有	21.4	310	8.3	1645
2004	8.0	岐阜県美濃市	1	台形	無	有	11.1	180	13.9	2153
2005	7.5	秋田県鹿角市	1	ラムダ	無	有	64.1	470	7.6	1970
2007	6.5	岐阜県美濃市	1	台形	有	無	10.9	180	13.9	2153
2007	5.5	岐阜県美濃市	1	台形	有	無	10.2	180	13.9	2153
2008	5.5	岐阜県美濃市	1	台形	有	有	10.9	180	13.9	2153
2007	5.5	岐阜県高山市	1	台形	無	無	3.4	680	10.3	1700
2008	5.0	鹿児島県出水市	1	台形	無	無	0.6	105	16.8	2057

※1:「越流」は、調査時における放水路上の流水の有無
 ※2:平均気温は最寄りの観測所と現地の標高差による補正をした数字

表-2. 調査地の概要（ヒノキ材）

施工年度	経過年数	施工箇所	基数	タイプ	丸棒加工	越流※1	流域面積 (ha)	標高 (m)	平均気温 (°C) ※2	年間降水量 (mm)
2001	10.5	岐阜県恵那市	1	台形	無	無	9.4	600	11.3	1747
2003	10.0	大阪府交野市	3	台形	無	無	4.9	130	15.0	1343
2004	9.0	大阪府交野市	3	台形	無	無	2.6	180	15.0	1343

※1:「越流」は、調査時における放水路上の流水の有無
 ※2:平均気温は最寄りの観測所と現地の標高差による補正をした数字

形式IML-RESI F500SX, IML Instrumenta Mechanik Labor System GmbH 社製) により行った。この機器は、先端径3mmの錐を回転させながら一定の送り速度で前進させ、これによって木材を穿孔したときの穿孔抵抗を測定する(藤井ら 2009)。劣化部の判定は、朝田ら(2002)の報告に従い、記録紙のグラフの振幅が1mm未満の部分とした。劣化厚は、記録紙から1mm単位で読み取った。

白田ら(2014)の報告では調査時に水の流れていた本体部では袖部と比較して劣化の進行が遅かったことから、調査結果を放水路より下部に位置し流水の影響を受けやすい「本体部」とそれより上部の「袖部」に分類した。また、調査箇所を、放水路上に調査時流水がかかっていた「越流有箇所」と、調査時流水が確認できなかった「越流無箇所」に分類し比較を行った。ダムに用いられた部材の加工形態は、丸太を削る加工の有無により、「丸棒加工有」と「丸棒加工無」の二つに分類して調査結果の比較を行った。

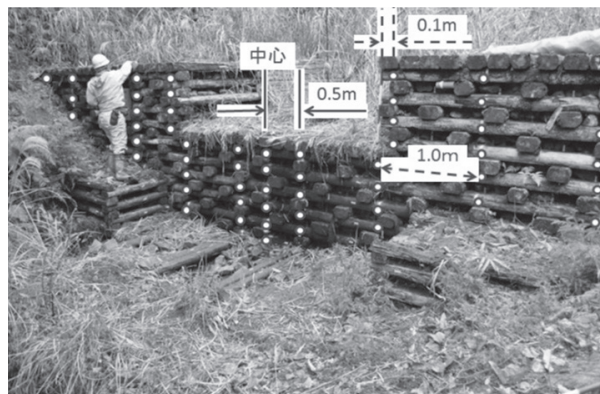


図-1. 調査位置

○: レジストグラフ調査点

注1) 木製ダムの調査対象部材は、露出している横木とした。

注2) 調査点は、ダムの中心から山側へ0.5mとそれ以降は1m間隔とした。

注3) 上記に加え、地山付近と、袖部の放水路から0.1m山側を調査した。

III 結果と考察

1. 調査施設の経過年数と測点数

施工からの経過年数は、スギ材で5~15年、ヒノキ材で9~10.5年であった(表-1, 2)。一施設当たりの測点数は、最大は148測点、最小は16測点、平均で60測点、総数は1,868測点であった(表-3, 4)。

2. 経過年数と劣化の関係

調査施設の経過年数に幅があったスギ材の劣化厚について、経過年数ごとの劣化厚の分布を示す(図-2)。経過年数と劣化厚には、袖部、本体部とも有意な正の相関があり($p < 0.01$)、経過年数が大きいかほど劣化厚が大きくなる関係が見られた。

表-3. 施設毎の測点数（スギ材）

施工年度	経過年数	施工箇所	箇所名	測点数		
				袖部	本体部	総数
1998	15.0	鹿児島県霧島市	霧島1	32	12	44
1998	15.0	鹿児島県霧島市	霧島2	24	19	43
1998	15.0	鹿児島県霧島市	霧島3	31	20	51
1999	14.0	鹿児島県霧島市	霧島	24	10	34
2000	12.5	京都府舞鶴市	鹿原	23	42	65
2001	11.5	秋田県鹿角市	深中田	36	88	124
2001	11.5	京都府舞鶴市	鹿原	20	15	35
2002	11.0	京都府舞鶴市	鹿原1	12	31	43
2002	11.0	京都府舞鶴市	鹿原2	12	17	29
2002	11.0	京都府福知山市	福知山	16	38	54
2003	10.0	鹿児島県出水市	出水1	25	27	52
2003	10.0	鹿児島県出水市	出水2	7	9	16
2003	10.0	鹿児島県出水市	出水3	23	23	46
2004	10.0	岐阜県美濃市	古城山	41	41	82
2003	9.5	秋田県鹿角市	深中田	25	73	98
2003	9.0	岐阜県揖斐川町	谷汲	29	21	50
2004	8.5	秋田県小坂町	萩平	31	18	49
2004	8.0	岐阜県美濃市	古城山	36	36	72
2005	7.5	秋田県鹿角市	深中田	21	50	71
2007	6.5	岐阜県美濃市	古城山	73	75	148
2007	5.5	岐阜県美濃市	古城山1	66	63	129
2008	5.5	岐阜県美濃市	古城山2	21	49	70
2007	5.5	岐阜県高山市	丹生川	40	74	114
2008	5.0	鹿児島県出水市	出水	18	15	33

表-4. 施設毎の測点数（ヒノキ材）

施工年度	経過年数	施工箇所	箇所名	測点数		
				袖部	本体部	総数
2001	10.5	岐阜県恵那市	恵那	40	42	82
2003	10.0	大阪府交野市	大阪1	14	20	34
2003	10.0	大阪府交野市	大阪2	19	31	50
2003	10.0	大阪府交野市	大阪3	22	25	47
2004	9.0	大阪府交野市	大阪1	14	14	28
2004	9.0	大阪府交野市	大阪2	18	19	37
2004	9.0	大阪府交野市	大阪3	18	20	38

3. 木製ダム内の木材の設置位置と劣化の関係

同じ施設の「袖部」と「本体部」とで部材の劣化状況に差があるかをみるため、箇所ごとに「本体部」、「袖部」の劣化厚を示したのが図-3, 4, 5である。スギ材で作られた各施設の平均劣化厚は袖部では11.56~75.16mm, 本体部では11.06~44.33mm, ヒノキ材で作られた各施設の平均劣化厚は袖部では17.29~33.36mm, 本体部では14.00~29.26mmであった。各施設間で経過年数に幅があるため、同じ施設の「袖部」、「本体部」間で差の検定を行った。その結果、「越流有箇所」については、スギ材、ヒノキ材とも全て「袖部」より「本体部」の劣化厚が小さく、「袖部」、「本体部」間に有

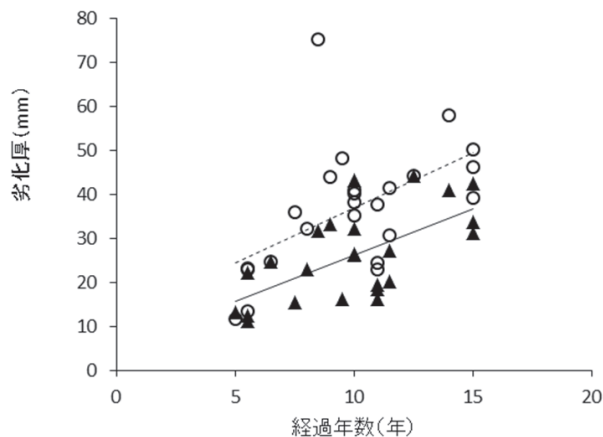


表-2. スギ材の劣化厚と経過年数の比較

○は袖部の平均劣化厚, ▲は本体部の平均劣化厚を表す。図中の点線は袖部劣化厚と経過年数の回帰直線 ($y=2.49x+11.96$, $R^2=0.29$, $p<0.01$), 実線は本体部劣化厚と経過年数の回帰直線 ($y=2.11x+6.05$, $R^2=0.41$, $p<0.001$)を表す。

意な差がみられた (Mann-WhitneyのU検定, $p<0.05$) が、「越流無箇所」では、一部の箇所を除き有意な差はみられなかった。これらは、臼田ら (2014) によるスギについての報告, 石川ら (2003) によるカラマツ材についての報告と同様であった。この原因として部位によって酸素の供給が異なることから、好気性菌である木材腐朽菌 (屋我ら 1997a) の活動が異なることが推測された。そのため、越流のある箇所の本体部は水にさらされ酸素の供給が遮断される期間が長く劣化の進行が抑えられ、一方、越流がない本体部は越流がある本体部に比べて酸素が供給される期間が長く間断的に乾湿が繰り返されるため、袖部と同様に劣化が進むと考えられた。

以上の結果から、部材の劣化に越流が影響している可能性がある。

4. 気温条件と劣化の関係

平均気温の違いにより劣化程度に差があるかを確認するため、経過年数が同程度 (9~10年) の丸棒加工していないスギ材で作られた木製ダムの袖部の劣化厚と年平均気温との関係を示す (図-6)。袖部の劣化厚と平均気温には、有意な相関は認められなかった ($p>0.05$)。これにより、経過年数が10年程度のスギ材の袖部の劣化厚には、平均気温の違いによる差が出ないと考えられる。

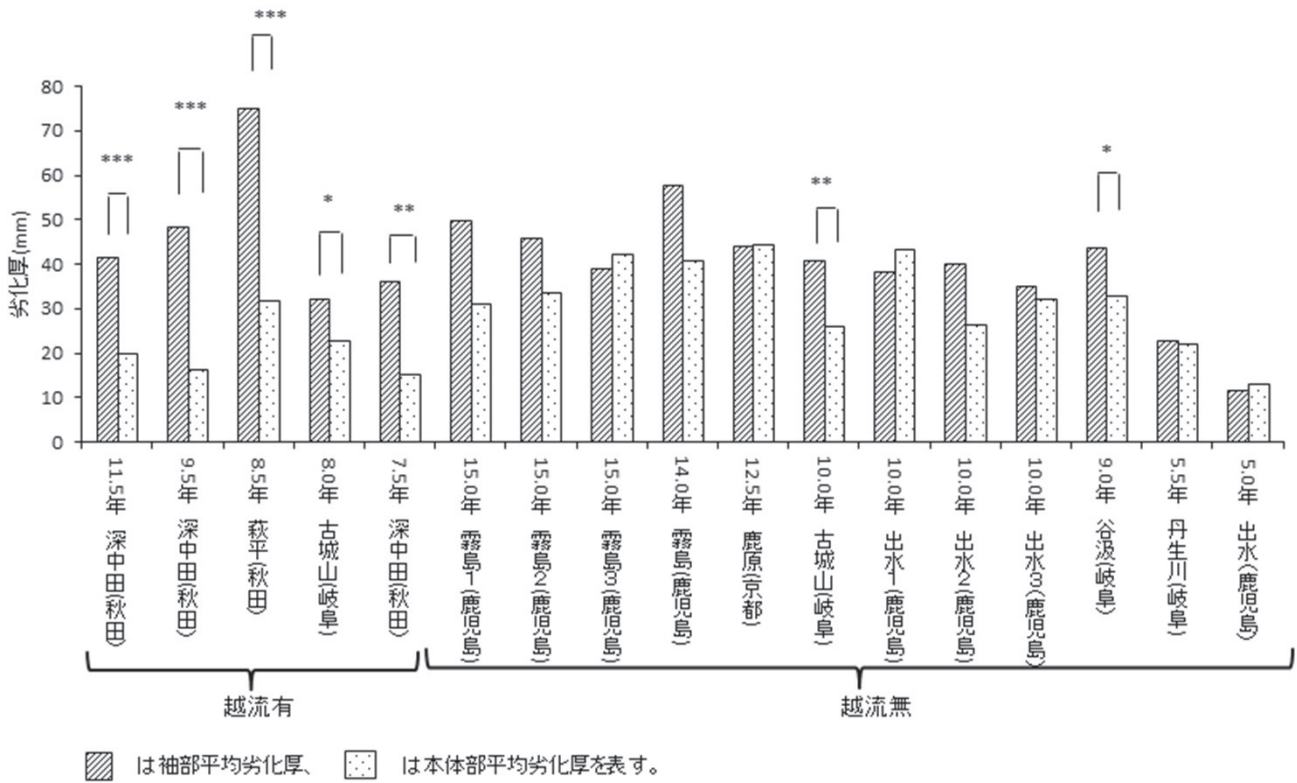


図-3. 各施設における袖部と本体部の平均劣化厚（スギ材，丸棒加工無）

アスタリスクは袖部と本体部の劣化厚の有意な差を示す（* : $p<0.05$, ** : $p<0.01$, *** : $p<0.001$ U検定）

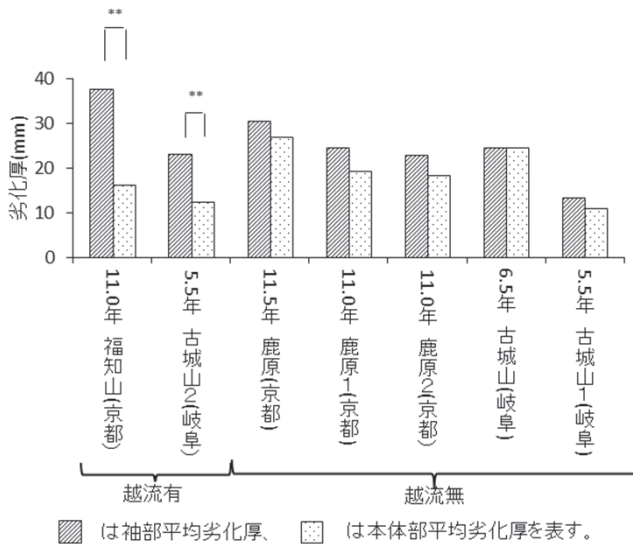


図-4. 各施設における袖部と本体部の平均劣化厚（スギ材，丸棒加工有）

アスタリスクは袖部と本体部の劣化厚の有意な差を示す（** : $p<0.01$ U検定）

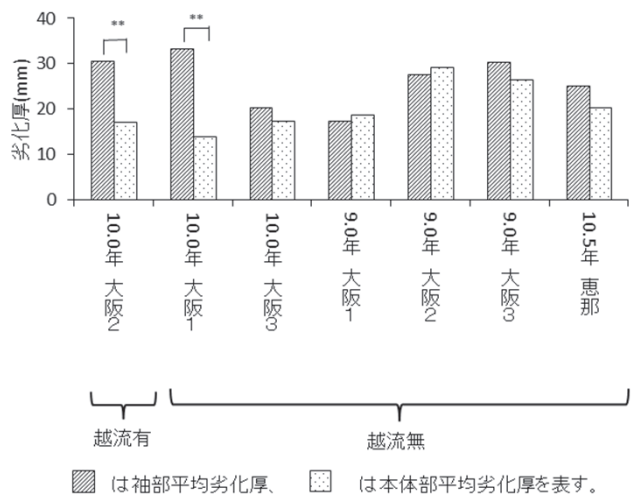


図-5. 各施設における袖部と本体部の平均劣化厚（ヒノキ材）

アスタリスクは袖部と本体部の劣化厚の有意な差を示す（** : $p<0.01$ U検定）

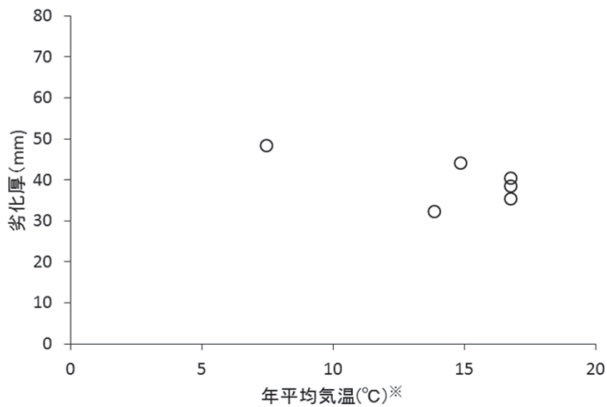


図-6. 経過年数が同程度の袖部のスギ材（丸棒加工無）の劣化厚と年平均気温の比較
※現地の標高差による補正後

5. 木材の加工形態と劣化の関係

丸棒加工の有無による劣化の違いをみるため、施工後の経過年数が同程度（9～11年）のスギ材で作られた木製ダム袖部の平均劣化厚を比較したのが図-7である。「丸棒加工有」箇所と「丸棒加工無」箇所の劣化厚に有意な差が見られた(Mann-WhitneyのU検定, $p < 0.01$)。丸棒加工は辺材部を削り部材の径を揃えるために行われるものであり、「丸棒加工有」箇所は辺材部が減少し、心材部の率が高くなる。心材部は辺材部より劣化が遅い(屋我ら 1997b)ことから、「丸棒加工無」箇所よりも「丸棒加工有」箇所の劣化の進行が遅くなったと考えられる。

以上の結果から、部材の劣化に丸棒加工の有無が影響している可能性がある。

6. 樹種の違いと劣化の関係

スギ材とヒノキ材の劣化状況の違いを確認するため、施工後の経過年数が同程度（9～10.5年）のスギ材、ヒノキ材の袖部の平均劣化厚を比較したのが、図-8である。スギ材の袖部とヒノキ材の袖部の劣化厚に有意差があり(Mann-WhitneyのU検定, $p < 0.01$)、スギ材よりもヒノキ材の劣化進度が遅い傾向がみられた。これは、ヒノキはスギと比べて一般的に心材率が高く(独立行政法人森林総合研究所 2001a)、ヒノキの心材はスギの心材よりも耐久性が高い(独立行政法人森林総合研究所 2001b)ため、心材率の差と樹種ごとの心材の耐久性の差が影響し、部材全体の劣化進度に差が出たと推察される。

以上の結果から、部材の劣化に樹種の違いが影響している可能性が示唆された。

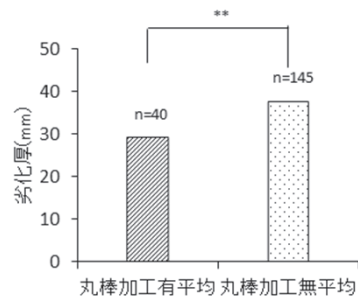


図-7. 経過年数が同程度の袖部のスギ材（丸棒加工有無別）の比較

アスタリスクは丸棒加工の有無による劣化厚の有意な差を示す (**: $p < 0.01$ U検定)
nは対象とした測点の数を表す。

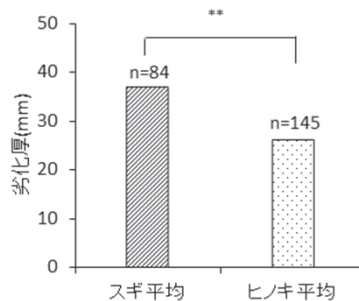


図-8. 経過年数が同程度の袖部のスギ材・ヒノキ材の比較

アスタリスクはスギ材とヒノキ材の劣化厚の有意な差を示す (**: $p < 0.01$ U検定)
nは対象とした測点の数を表す。

IV まとめ

木製ダムの部材として使用されたスギ材、ヒノキ材の劣化状況とそれに影響を及ぼす諸要因を明らかにするため、部材の劣化の実態について、施工後の経過年数、同施設内の設置位置、施設が設置された気温条件の違い、部材の加工形態の違いおよび樹種の違いに着目して調査した。この結果、設置箇所の平均気温差による影響はほとんどなく、施工後の経過年数、越流のあった箇所での設置位置、丸棒加工の有無および樹種といった要因が劣化に影響を与えていることが示唆された。今後は、これらの諸要因に対応した、木製ダムの部材劣化に関するデータをさらに蓄積し、精度の高い劣化予測法を確立する必要がある。

謝 辞

本研究の実施にあたり，林野庁中部森林管理局，秋田県，岐阜県，京都府，大阪府ならびに鹿児島県の治山担当者の方々には，資料の提供など多大なるご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。なお，本研究は農林水産省の農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「生態系保全のための土と木のハイブリッド治山構造物の開発」により実施した。

引用文献

秋田寛己（2013）全国における木製治山堰堤の施工実績と今後の維持管理. 第52回治山研究発表会論文集:132-137
朝田瑞樹・石川芳治・水原邦夫・三好岩生（2002）間伐材の腐朽に伴う強度変化と強度調査法. 平成14年度砂防学会研究発表会概要集：238-239
石川芳治・内藤洋司・落合博貴・上原 勇（2003）各種試験に基づく木製施設の耐久性，腐朽度および曲げ強度評価法. 砂防学会誌56：21-31
臼田寿生・和多田友宏・土肥基生（2014）木製治山ダムの部材として利用されたスギ材の耐久性. 中森研62:95-96

気象庁（2014）気象統計情報，過去の気象データ検索（オンライン）. <http://www.jma.go.jp/>（参照日：2014年6月24日）
社団法人日本治山治水協会（2009）気象調査資料の補正（平成21年度治山技術基準解説 総則・山地治山編，社団法人日本治山治水協会）：58-61
独立行政法人森林総合研究所編（2001a）木材工業ハンドブック改訂4版:56，丸善株式会社
独立行政法人森林総合研究所編（2001b）木材工業ハンドブック改訂4版:787，丸善株式会社
土木学会木材工学特別委員会（2011）土木分野における木材利用入門～土木分野における環境貢献に向けて～
藤井義久・藤原裕子・原田正彦・木川りか・小峰幸夫・川野邊渉（2009）穿孔抵抗測定法を用いた文化財建造物の構造部材の虫害評価に関する一考察，日光輪王子における虫害を事例として. 保存科学 48:215-221
屋我嗣良・河内進策・今村祐嗣編（1997a）木材科学講座1 2 保存・耐久性：74-75，海青社
屋我嗣良・河内進策・今村祐嗣編（1997b）木材科学講座1 2 保存・耐久性：79，海青社
林野庁（2009）森林土木木製構造物設計等指針及び森林土木木製構造物設計等指針の解説等：29-30