

護岸材料に用いるための間伐木杭腐朽特性に関する研究

木村直裕** 渡部守義* 神田佳一*

Study on decay characteristics of thinning wood pile for using as revetment material

Naohiro KIMURA, Moriyoshi WATANABE, Keiichi KANDA

ABSTRACT

Thinning is necessary for forest conservation, and thinning wood must be used effectively. The purpose of this research is to find the fundamental knowledge on the characteristics of thinning wood pile decay so that it could be used as revetment material. We have been observing the decay and durability from since 2005 using 3 different species of wood (Japanese cedar, Japanese cypress, pine) and 4 types of surface processing method under different conditions. The measurement items are the wood pile diameter, penetration depth, moisture content, and stress wave velocity. This research shows the result of the thinning wood pile after 11 years. The wood pile surface above the water shows that the penetration depth increased in all wood piles, especially the pine. In underwater condition, the penetration depth doesn't show great increase. Moreover, in the air there is an effect of surface processing such as preservative treatment, but no effect is seen in underwater condition. On the boundary between the air and water, the decay progressed by microorganism. Although this experiment is still ongoing, the wood pile decayed at this stage is not preferable in viewpoint of the landscape so it is considered better to replace the decade by the target.

KEY WORDS: thinning, revetment material, decay characteristics, penetration depth, experiment

1. はじめに

近年、日本の人工林が間伐期を迎えていることにより発生する多量の間伐材の有効利用について、早急な対策が必要とされている。日本の材木需要は、その8割を安価な輸入材で占められており、国内産の材木の需要は衰退を続けている。さらに、かつての拡大造林政策の影響により膨大な人工林が手付かずのまま、放置されている現状にある¹⁾。この対策として、林野庁では平成19年度から6年間で330万ヘクタールの間伐目標を掲げ、効率的かつ計画的な間伐を進めた²⁾。さらに、平成32年度までの間における森林の間伐等の実施を促進するため、森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法の一部を改正する法律が平成25年5月31

日に公布・施行された²⁾。これを受け、林野庁は平成32年度までの8年間において、年平均52万ヘクタールの間伐を実施することを目標として、間伐等の森林整備を進めている。これにより、間伐が推進され、多量に発生する間伐材の使用法の確立が必要とされている。その間伐材の使用法の一つとして挙げられるのが河川資材使用するという方法である。近年では、間伐材を景観や河川環境に配慮した「多自然川づくり」の一環で河川資材として利用する取り組みが進められている。

河川環境を含めた屋外環境で木材を使用する際、「腐朽」が問題となるが、河川環境における木材の腐朽特性についてはほとんど明らかにされていない。

*都市システム工学科 **建築・都市システム工学専攻

本研究は、護岸材料に用いるための間伐木杭腐朽特性に関する基礎的な知見を得ることを目的とし、2005年より異なる浸水条件下で樹種・表面加工の異なる木杭を対象に腐朽・耐久性の観察を行う木材の浸水実験を開始している。本報告は実験開始から2016年で11年が経過したことから、その経過を報告するものである。

2. 実験方法

2.1 木杭の種類及び寸法

木杭材料は杉、桧及び松の3種類を用意した。この3種類の一般的な特徴を表1に示す。この中で杉は建築材として比較的多く利用¹⁾されていることから、杉を対象とし、表面加工を行った。まず、木材の腐朽を防ぐための焼き加工、ヤシ油、銅イオンを防腐処理として加圧注入したもの、さらにコスト削減の観点から表面の未加工の皮付きの木杭の4タイプの加工を行った木杭を準備した。木杭の寸法は、図1に示すように直径10cm、高さ60cmに加工したものを用了。

2.2 木杭の設置条件

実河川での護岸材料として使用されている木杭設置状態を実験で再現するため、表2と図2に示す3つの設置条件を設定した。

設置条件Aは、高水敷上の使用を想定し、容器の1/2高さの位置に直径5mm程度の穴を開け、容器満杯まで砂を充填させた状態で、木杭を並べ立てたものである。つまり、木杭の上部1/2は空气中、下部は1/2が砂中で、内1/4は給水によって水で飽和状態とした場合を設定している。

設置条件Bは、低水護岸での使用を想定し、容器の1/2高さまで砂を充填させた状態で、木杭を並べ立てたものである。また、容器を常時満水状態にしている。つまり、木杭の1/2は空气中、下部は1/2が水中、内1/4が砂中にある状態とする。

設置条件Cは、完全に水没した状態での使用を想定し、容器に木杭を横に倒して入れ、給水によって容器から水をあふれさせ、容器を常時満水状態にしている。つまり、木杭は常時完全に水浸した状態にある。

実験においては、縦60cm×横40cm×高さ30cmのコンテナボックスに材質や表面処理法の異なる2種類の木杭を4本ずつ設置した。水の水位は、水の蒸発を考慮し、家庭菜園用の給水タイマーを用いて朝4時、夕方4時に水道水を30分間給水している。

表1 木材の一般的な特徴

	杉	桧	松
加工性	◎	◎	△
耐久性	○	◎	△
生産量※ (万m ³ /年)	996	217	377

※生産量はH24年度

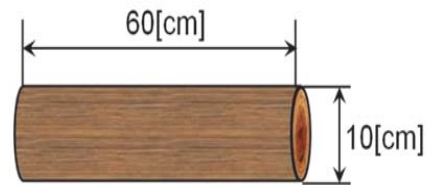


図1 木材の寸法

表2 木杭の設置条件

条件	A	B	C
状態	1/2 土中・ 1/4 浸水	1/4 土中・ 1/2 浸水	完全浸水
想定	高水敷上	低水護岸	完全水没
概略			

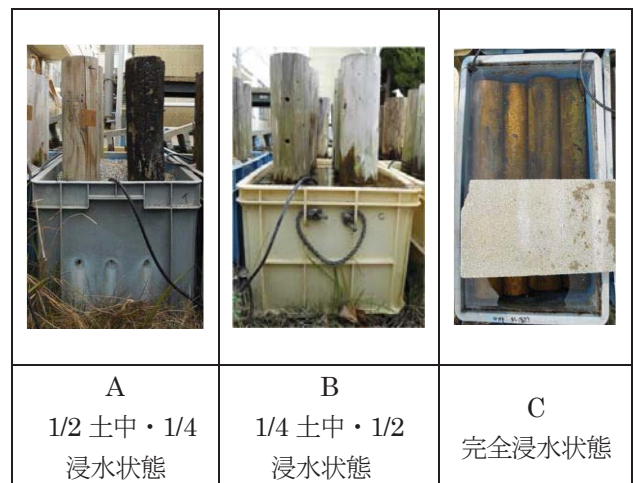


図2 実際の設置条件における木杭

2・3 実験方法

木材の腐朽具合を定量的に示す指標として、木杭の直径、貫入量、応力波速度、含水率の4項目を測定した(表3)。各測定項目の実施状況を表3に示す。

1) 木材試験機による貫入量試験

木杭の貫入量は図4に示す富士テック製木材貫入量測定機(ピロディン)を用いて測定する。木材貫入量測定機は丸太、材木を評価するために設計された試験機で、先端の針を6Jの貫入エネルギーで打ち込み、その針の貫入量によって木材の状態を相対的に評価するものである。貫入量が大きいほど腐朽が進行していると考えられる。貫入量は、各木杭1本につき木杭の両端から10cmの位置と中心位置の3箇所周囲8箇所、計24箇所において測定した。

2) 含水率

木杭の含水率は図5に示すProtimeter製サーベイマスター水分計を用いて測定する。水分計先端の2本の電極針を木杭に刺すことにより、刺した個所の木杭の含水率を測定することができる。電極の先端間における抵抗値より、実際の木材含水率をパーセント(%)で読み取る。測定箇所は、木杭の両端から10cmの位置と中心位置の3か所とした。

3) 応力波速度

応力波速度は図6に示すFAKOPP Enterprise製木材試験機ファコップを用いて応力波の到達時間を測定し、ノギスで測定した直径を応力波到達時間で除して算出する。応力波の到達時間は、対角線上に2本のピンを刺し、一方のピンにハンマーで衝撃を与え、もう一方のピンに衝撃が伝わるのに要した時間(μs)を測定する。測定箇所は、木杭の両端から10cmの位置と中心の3か所の周囲とし、その対角線上4方向で測定する。応力波の伝播経路は、図7のようなものであり、木杭表面または内部に腐朽箇所があれば伝播経路は長くなり、応力波が他端に到達するまでの時間は健全な木杭に比べて長くなる。

3. 実験結果

3・1 貫入量実験結果

各条件での杉、桧、松の2005年の設置前の貫入量に対する各年度の条件Aにおける貫入量の増加割合を表4に示す。なお、貫入量は上部、中部、下部、それぞれ周囲8か所および木杭1種類につき4本あるため、その4本の部位ごとの平均値を木杭の貫入量としている。条件Aにおいて、空気と接している上部の貫入量は年数の経過とともに最も増加している。条件Bについて

表3 測定項目の実施状況

	2005	2009	2013	2016
実験開始何年目	1年目	5年目	9年目	12年目
実年数	0年	4年	8年	11年
直径	○	○	○	○
貫入量	△	○	○	○
含水率	×	○	○	○
応力波	×	○	○	×

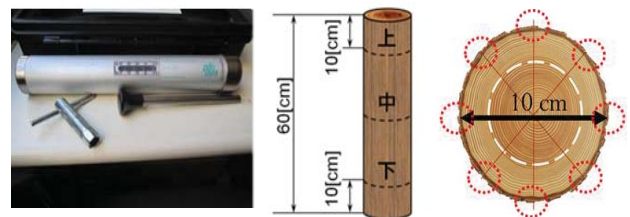


図4 ピロディン及び測定位置



図5 サーベイマスター水分計及び測定位置

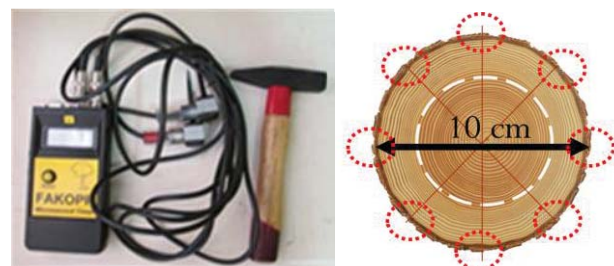


図6 木材試験機ファコップ及び測定位置



図7 応力波の伝搬経路のイメージ

も同様の結果が得られている。また、どの設置条件においても水中に没している下部は貫入量の増加割合は比較的小さいと言える。

本報告では木杭上部、中部、下部のうち空気と土、もしくは、空気と水の境界である木杭中部での貫入量の進行の程度を樹種の違いでの比較及び、表面処理方法の違いについて考察を行う。

1) 樹種の比較

1/2 土中、1/4 浸水の条件 A の樹種による貫入量の変化を図 8 に示す。グラフは鉛直軸に貫入量、水平軸に樹種をとったもので、鉛直軸の値が大きいほど腐朽が進んでいることを表す。

実験開始 5 年目の 2009 年では桧の貫入量が 14.0 ± 1.1 mm と最も小さいが、時間経過にともない急激に貫入量が大きくなっている。杉は 11 年間の実験期間中の増加割合が最も小さいと言える。松は、2009 年の増加割合が 3 つの樹種中で最大となっている。また 2016 年における松の増加率は桧に比べ小さいが貫入量は杉に比べ大きな値となっている。

1/4 土中、1/2 浸水の条件 B の樹種による貫入量の変化を図 9 に示す。条件 A に比べ貫入量が大きく増加していない。測定箇所が乾湿の繰り返しのある水と空気の境目あたりでは桧の貫入量が最も小さいと言える。

完全浸水の条件 C の樹種による貫入量の変化を図 10 に示す。完全浸水において、杉は 2013 年にわずかな増加が見られるが、条件 A ほどの増加はなかった。桧も 2013 年にわずかな貫入量の増加はあるもののその後、変化はなかった。特に松に関しては実験当初からほとんど貫入量の変化はない。

以上より樹種を問わず、大気中では貫入量は増加し、浸水条件では貫入量に急激な変化はないことが分かった。浸水条件で使用する場合は樹種を問わないが、空気に触れる場所で使用する場合、松は適さないと言える。

2) 加工方法による違い

杉の表面加工の木杭中部における貫入量の変化を図 11、図 12、図 13 に示す。

土と空気の境界の条件 A では、防腐効果を期待した焼きとヤシ油と銅イオンは実験開始から 5 年目の 2009 年における貫入量が加工なしに比べ小さく、腐食を抑える効果があったと言える。しかし、9 年目の 2013 年を経過するとその効果が薄れ、貫入量が増加しており、加工なしとほぼ同じ貫入量となっている。

表 4 条件 A の貫入量増加割合

条件 A	2005	2009	2013	2016	
杉	上	1	1.3	1.8	2.5
	中	1	1.3	1.3	1.6
	下	1	1.1	1.3	1.5
桧	上	1	1.4	1.9	4.2
	中	1	1.4	2.0	1.8
	下	1	1.3	2.1	2.0
松	上	1	0.9	1.8	1.7
	中	1	1.9	2.3	2.5
	下	1	1.6	2.2	1.8

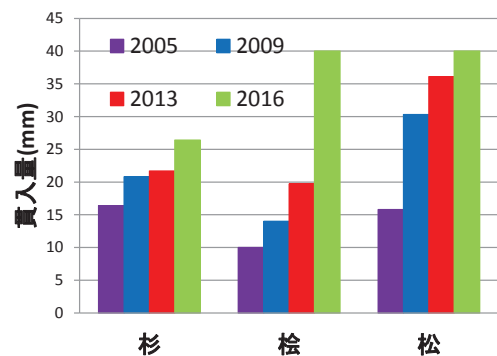


図 8 条件 A 木杭中部における貫入量の変化

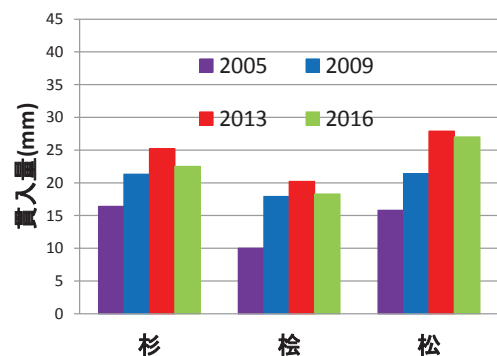


図 9 条件 B 木杭中部における貫入量の変化

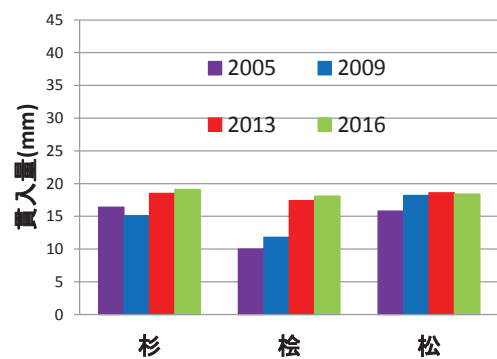


図 10 条件 C 木杭中部における貫入量の変化

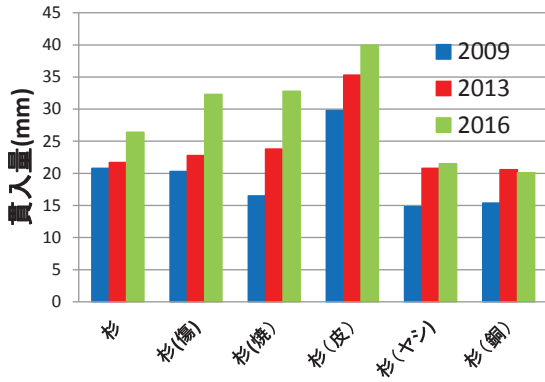


図 1 1 条件 A 木杭中部における貫入量の変化

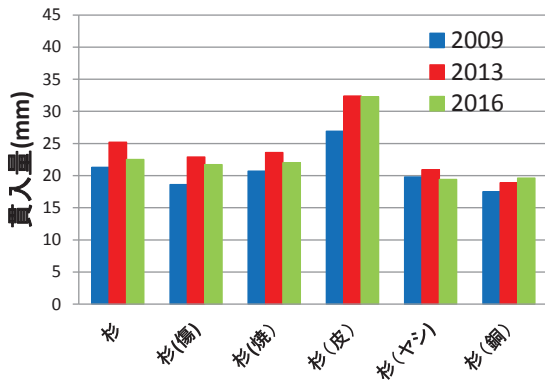


図 1 2 条件 B 木杭中部における貫入量の変化

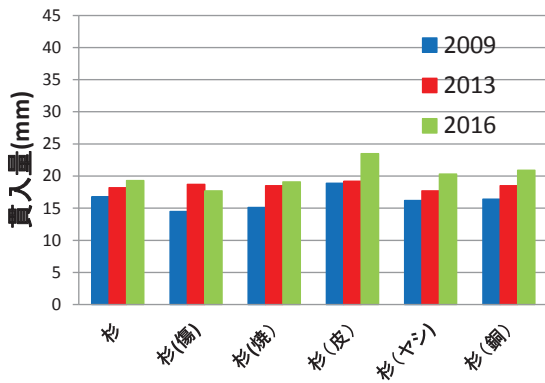


図 1 3 条件 C 木杭中部における貫入量の変化

特に焼きはその後も急激に貫入量が 9.0 mm 程度増加している。また、皮付きについては 5 年目の 2009 年から貫入量が増加している。

2016 年にどの木杭においても条件 A の貫入量が急激に増加したと見ることができ、図 12、図 13 から分かるように水の境界である条件 B、全浸水状態である条件 C については、2009 年から 2013 年にかけての貫入量の増加は条件 A に比べ小さいと言える。杉(焼)について 2016 年の木材の写真を図 14 に示す。写真の



図 1 4 杉(焼)の表面

表 5 条件 A の含水率

含水率		2005	2009	2013	2016
杉 (%)	上	18	13.7	9.5	29.7
	中	22.2	90.4	36.5	86.8
	下	41.3	49.6	40.3	31.9
桧 (%)	上	13.6	55.5	11.5	26.9
	中	16.8	55.7	58.9	62.2
	下	16.2	42.4	51.7	50.1
松 (%)	上	4.2	9.5	21.5	25.2
	中	14.9	80.6	49.5	-
	下	14.3	47.1	42.8	32.1

表 6 条件 A の応力波速度

応力波速度		2005	2009	2013
杉 (mm/μs)	上	1.7	1.5	0.4
	中	1.7	1.3	0.4
	下	1.5	1.3	0.4
桧 (mm/μs)	上	1.6	1.5	0.4
	中	1.7	1.6	0.4
	下	1.5	1.5	0.4
松 (mm/μs)	上	1.6	1.4	0.6
	中	1.6	1.2	0.3
	下	1.6	1.1	0.4

ように表面が大きく朽ちている。実験の際にはこの部分にアリが営巣していたことを確認している。皮付きも同様に皮と心材の間に朽ちた木材があったことから小型の動物や微生物が侵入していたため、貫入量が大きく増加したと考えられる。ヤシ油と銅イオンでは、その成分がこれらの生物の侵入を防いだため腐朽が進行しなかった可能性があると言える。

3・2 含水率実験結果

表 5 に条件 A における杉、桧、松の含水率を示す。含水率については特徴的な増減はなかった。この理由として、含水率測定日の天候や空気中の湿度の影響が含水率の測定に大きく影響しているのではないかと考えられる。

3・3 応力波速度実験結果

表 6 に条件 A における杉、桧、松の応力波速度を示す。経年的な貫入量の増加に対し応力波速度が減少していることがわかる。9 年目である 2013 年に急激に応力波速度の低下が見られ、腐朽に伴い木材の密度が疎になっていると考えられる。

4. おわりに

本研究では 2005 年から実河川での使用を想定した条件で長期間の木材腐朽特性を明らかにするための実験を継続している。本報告は 2016 年に実験開始から 11 年を迎え、その腐朽進行具合を報告するものである。以下に本研究で得られた知見を示す。

1) 樹種による違い

樹種を問わず、大気中では貫入量は増加し、浸水条件では貫入量に急激な変化はないことが分かった。浸水条件で使用する場合は樹種を問わないが、空気に触れる場所で使用する場合は、松は適さないと言える。

2) 杉材の加工方法による違い

杉(焼)では、条件 A の上部、条件 B の下部ではほぼ変化はなかったが、それ以外では腐朽が進行した。表面のみの加工はアリなどの昆虫類が営巣しやすい環境を作るため、空気中で使用する場合は焼き加工は適さないと言える。

皮付きの杉は、他に比べ腐朽の進行が非常に速い。これは、皮によって吸い上げられた水分が皮の下に溜まり、腐朽菌が繁殖しやすい環境をつくるためである。

一方、ヤシ油と銅イオンを加圧注入したものの腐朽の進行は遅く、空気中では防腐効果が期待できる。しかし水中では他の加工した木杭と同じ程度増加しているため効果は発揮されないといえる。これらのことか

ら、1/4 土中・1/2 浸水状態の条件 B では杉(ヤシ油)または杉(銅)が護岸材料として使用するのに適していると考えられる。全浸水条件で使用する場合は、コスト面を考えると特にヤシ油や銅イオンの処理は必要ないと言える。

3) 11 年間での腐朽の進行

10 年以上経過すると完全水没以外の条件では腐朽の進行が見られた。本実験は現在も継続中であるが、現段階で腐朽した木材は景観上も好ましくないため、10 年を目途に交換した方が良いと考えられる。

参考文献

- 1) 森林・林業学習館, <http://www.shinrin-ringyou.com/> (取得日: 2017 年 2 月 2 日) .
- 2) 林野庁, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/suisin/> (取得日: 2017 年 2 月 2 日) .
- 3) 山口知恵: 木杭を用いた多自然型護岸工周辺の流れと河床変動に関する研究, 明石工業高等専門学校都市システムエ学科卒業研究, 2006.
- 4) 中川明紀: 間伐材を用いた多自然型護岸・水制工周辺の流れと河床変動に関する研究, 明石工業高等専門学校都市システムエ学科卒業研究, 2007.
- 5) 中田有美: 間伐材を用いた木杭護岸の腐朽特性に関する研究, 明石工業高等専門学校都市システムエ学科卒業研究, 2008.
- 6) 泉佳甫: 間伐材を用いた木杭護岸の腐朽特性とその抑制に関する実験的研究, 明石工業高等専門学校都市システムエ学科卒業研究, 2009
- 7) 小野元毅: 木杭列低水護岸の腐朽特性に関する模型実験 明石工業高等専門学校都市システムエ学科卒業研究, 2013.
- 8) 多自然型川づくり, http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kasen/gaiyou/panf/gaiyou2005/pdf/c3.pdf (取得日: 2017 年 2 月 2 日)