

束状の排水資材としての利用を想定したモウソウチクの暴露期間と曲げ特性との関係

山口 智^{*1}, 井道裕史^{*1}, 加藤英雄^{*1}, 長尾博文^{*2}, 渋沢龍也^{*1},
鈴木秀典^{*1}, 田中良明^{*1}, 陣川雅樹^{*1}

Relationship between exposure period and bending properties of Moso Bamboo intended for use as a bundled drainage material

Satoshi Yamaguchi^{*1}, Hirofumi Ido^{*1}, Hideo Kato^{*1}, Hirofumi Nagao^{*2},
Tatsuya Shibusawa^{*1}, Hidenori Suzuki^{*1}, Yoshiaki Tanaka^{*1}
and Masaki Jinkawa^{*1}

^{*1}Forest Research and Management Organization

^{*2}formerly of Forest Research and Management Organization

Summary

Exposure tests were conducted using materials in bundles and fitted into bare trenches to accommodate the assumed use to investigate the relationship between the decay and strength of Moso bamboo. The outdoor exposed specimens were periodically sampled, and bending specimens were prepared from the split bamboo that constituted the bundles and tested in bending to analyze the density, MOR, MOE, and σ_{bp} as indicators.

The findings were compared with the previously reported results of outdoor exposure in pile form. The density values were close to the top of the pile, and other indices were close to the pile's ground edge in terms of the percentage change from the pre-exposure values based on average values. Since the piles in this case were installed by digging and fitting trenches in the ground, the result was considered sufficient.

For each exposed specimen, the average MOR values were summarized by the presence or absence of soil attachment at the time of sampling, and the findings demonstrated that after 14 months of exposure, the specimens that appeared to have been in contact with soil indicated a more advanced decline in MOR, i.e., more advanced decay.

^{*1} (国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所

^{*2} 元(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所
この報告の一部は第 69 回日本木材学会大会 (2019 年 3 月, 函館) で発表した。

1. はじめに

森林管理や伐採搬出などを行うために必要に応じて作設される林道や作業道などはアスファルトやコ

ンクリートによる舗装をされないことが多いため、雨水や湧水などによる路面流により洗掘ができることで通行に支障をきたすなどの問題が発生する。その対策として必要に応じて頻繁に排水を行う必要が生じる。例として、道路に横断する方向に溝を掘り、流下する路面上の水を谷側に排出させる方法がある¹⁾。この方法で最も簡便なのは、単純に道路を掘る素掘りと呼ばれるものであるが、素掘り部分と道路との間に段差ができるため車両の通行には難が出やすい²⁾。簡易排水への取り組みとして、樹脂製疎水材を路面上に使用した横断排水溝を試作した報告³⁾がある。

その一方で、近年、竹林の放置とその拡大現象が顕著である⁴⁾ことが問題となっている。既報⁵⁾では、モウソウチクを割って束ねた竹粗朶の横断方向に掘削された溝への嵌合により、通水を可能にしながら車両の通行を容易にする手法を試行し、モウソウチクが排水素材として有用であることを示した。

ただし、モウソウチク (*Phyllostachys edulis*) が生物材料である以上、排水素材として利用する場合には、長期にわたる屋外暴露による腐朽は不可避である。そこで、カラマツとトドマツの杭の暴露試験を行った報告⁶⁾をもとにモウソウチクを割竹にして暴露試験を行い、全乾質量の減少率を調査した⁷⁾。その結果、年を追うごとに全乾質量は減少するものの、その減少率は、土に触れていない上部が小さく、土中にあった下部が最も大きい結果となった。また、地際部は下部に近いが下部よりやや小さい結果となった。さらに、割竹の状態にしたモウソウチクの長さ方向の半分を地中に埋めて屋外暴露試験を行い、その後、暴露試験体から定期的に曲げ試験体を作製して曲げ試験を行うことで、モウソウチクの暴露期間と強度の関係を明らかにした⁸⁾。

一方、前述したように、実際に竹が排水に使用される場合、竹は割って束ねたものが溝に嵌合された状態となる。そこで、この使用状態における腐朽の経過が既報⁸⁾の結果におけるどの部位の腐朽経過と類似した結果となるのか明らかにすることを目的として、束の状態にして溝に嵌合した状態で屋外暴露試験を行い、定期的に暴露試験体から曲げ試験体を作製して曲げ試験を行った。

2. 実験

2.1 試験体

茨城県つくば市で2016年1月に伐採されたモウソウチク(年生不明)の竹稈6本(長さ約3m)を供試体として用いて、A~Fの名称を当てた。これを5等分に玉切りすることで約60cmの短竹稈30本を得た。その際、末口側から1~5と番号を割り振り、前述のA~Fと組み合わせでA1~F5の名称を当てた。続いて、竹稈を竹割器で6つ割にし、割竹180本を作製し、それぞれ1~6の番号を振った。前述の短竹稈の名称A1~F5と組み合わせで、割竹の名称をA11~F56とした。この時点での割竹の長さ60cmのうち、約6cmを含水率測定に用い、残りの約54cmを曲げ試験の母材として使用した。得られた割竹180本のうち、X2とX4(X:A~F)から得られた割竹6本のうちの1本、計12本をコントロール材とし、残りの168本を暴露試験体とした。

2.2 コントロール材の曲げ試験

コントロール材の割竹12本から節を除去した後、割竹1本あたり6体の曲げ試験体採取した。試験体は、幅と厚さが同程度の寸法になるようにし、断面がほぼ正方形になるようにベルトサンダで表面を削った。その際、厚さを極力減らさないようにするため曲面が平面になる程度とした。

コントロール材の割竹12本の両端を実測した厚さは平均8.17mm、最大12.30mm、最小5.30mmであった。曲げ試験体6本のうち3本は外皮側から載荷する試験体、残り3本は内皮側から載荷する試験体とした。温湿度管理がなされていない室内で一定期間静置した後、JIS Z 2101⁹⁾に準拠してスパンを材せい(厚さ)の14倍とした中央集中荷重方式により曲げ試験を行った。ただし、JIS Z 2101に規定された厚さ20mmを確保することは困難であった。また、厚さが一定ではないことから、厚さ5mm括約で分類し、厚さの14倍以上になるようにスパンを設定した。なお、試験機で設定できるスパンの最短が84mmであったことから、厚さが6.0mm以下の試験体は全てスパン84mmで曲げ試験を行った。これは、以下の暴露試験体でも同様である。試験終了後、全乾法により含水率

を算出した。

2.3 暴露試験体の設置、掘り取り、曲げ試験

168本の割竹を1束あたり14本として12束に分配した。その際、各束にはそれぞれの竹程から得られたものが含まれるようにした。暴露試験地として、茨城県つくば市の森林総合研究所構内を



第1図 暴露試験設定時の設置状況

を設定し、横断溝を模した状態で第1図のように設置した。その際、2列の間を低くし、2列の外側が高くなるように整地することで傾斜がついており、降雨時に雨水が束の中を通るように嵌合した。

設置直後、6ヶ月後、9ヶ月後、12ヶ月後、その後は2ヶ月毎に暴露試験地から1束の試験体を



第2図 土の付着状況の記録と割竹への番号付与の例

回収した。第2図のように束の断面における土の付着位置を線で結び形で記録し、束の上部から順に各割竹に番号(X-1~14)を振った。割竹に付着した泥をブラシで剥離した後、質量測定を行った。

1つの割竹あたり4体の曲げ試験体を採取し、各試験体の節を除去した後、幅を厚さと同程度の

寸法になるように加工した。その後、試験体厚さに合わせてベルトサンダで表面を削った。4本のうち2本は外皮側から載荷する試験体、残り2本は内皮側から載荷する試験体とした。ただし、一部の試験体においてカミキリムシによる食害があり、当該試験体は食害による空隙の影響を排除するため、食害がない部分を整形した。なお、食害のあった本数は暴露12ヶ月後が2本、20ヶ月後が1本、22ヶ月後が3本、24ヶ月後が1本、28ヶ月後が2本であった。温湿度管理がなされていない室内で気乾状態まで静置した後、コントロール材の曲げ試験と同様の荷重条件で曲げ試験を行った。試験終了後、全乾法により含水率を算出した。

2.4 曲げ試験後のデータ評価方法

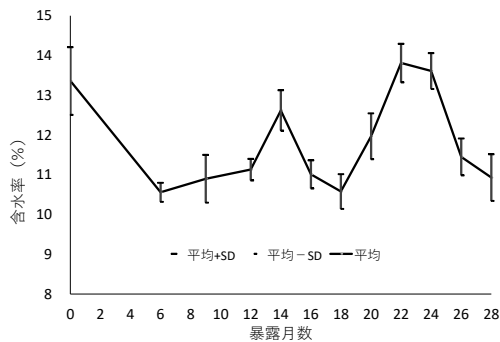
曲げ試験終了後、JIS Z 2101に従って、曲げ強度(MOR)、見かけの曲げヤング係数(MOE)、曲げ比例限度応力(σ_{bp})を算出した。算出方法は既報⁸⁾と同様である。既報⁸⁾の結果、 σ_{bp} は荷重の方向によって明らかに違いが見られたことから、本報においても、荷重の方向別に考察を行うこととした。

割竹を束にして寝かせた状態で暴露した本報とは異なり、既報⁸⁾では、割竹を杭状に暴露して強度の推移を調査した。以下、既報⁸⁾の結果と併せて検討する。既報⁸⁾では密度、MOR、MOE、 σ_{bp} の推移について暴露試験体である割竹杭を上部・地際・下部に3分割して調査した。上部・地際・下部のうち、上部は土が付着しておらず、地際と下部は土が付着している。今回の暴露試験の最長暴露期間が28ヶ月であることから、28ヶ月後までの平均値の変化で比較を行った。

3. 結果と考察

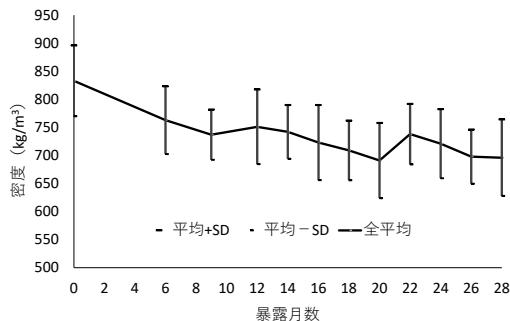
3.1 含水率の推移

含水率の平均値と標準偏差の推移を第3図に示す。動向としては上下を繰り返しており、室内の温湿度の変動による影響が考えられる。



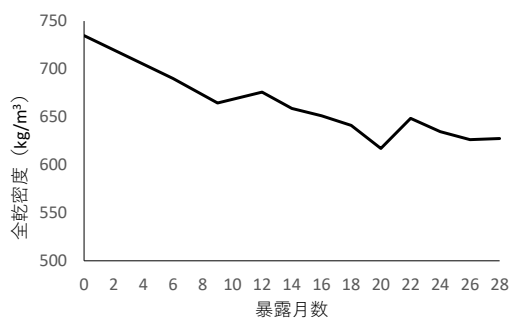
第3図 含水率の平均値と標準偏差の推移

3.2 密度の推移



第4図 密度の平均値と標準偏差の推移

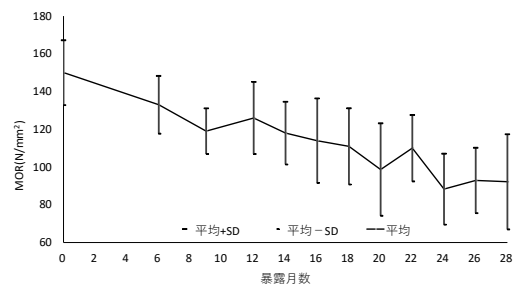
密度の平均値と標準偏差の推移を第4図に示す。12ヶ月目と22ヶ月目で密度の上昇が見られたが、含水率も同時期に上昇しており、含水率による影響が考えられる。そこで、含水率の影響を除去するため、乾燥による寸法変化は考慮せず全乾密度の平均値を算出したものを第5図に示す。長期的傾向として漸減傾向が続いており、暴露期間が長くなるほど密度が減少していると考えられる。14ヶ月目の時点で全乾密度の平均値は暴露前と比べて10%以上減少し、それ以降も上下は見ら



第5図 推定した全乾密度の平均値の推移

れるが漸減傾向が続いていた。

3.3 曲げ強度 (MOR) の推移



第6図 MORの平均値と標準偏差の推移

MORの平均値と標準偏差の推移を第6図に示す。12ヶ月目と22ヶ月目で上昇を示した。一方、同時期では全乾密度もやや上昇していた。そこで全体的な傾向を掴むため暴露月数とMORの平均値の相関係数を求めたところ-0.9549となり、強い負の相関があった。そのためMORはおおむね漸減傾向であると考えられる。

3.4 土の付着の有無によるMORへの影響

第1表 土の付着の有無別でのMORにおける差のMann-Whitney検定結果

暴露月数	採取年月	$n_1 \times n_2$	U	範囲	5%有意
0	2016年4月	0	-	-	-
6	2016年10月	45	23	7-38	
9	2017年01月	40	30	5-35	
12	2017年04月	45	29	7-38	
14	2017年06月	48	42	8-40	○
16	2017年08月	49	45	8-41	○
18	2017年10月	24	21	1-23	
20	2017年12月	33	31	3-30	○
22	2018年02月	48	24	8-40	
24	2018年04月	40	38	5-35	○
26	2018年06月	13	-	-	-
28	2018年08月	40	40	5-35	○

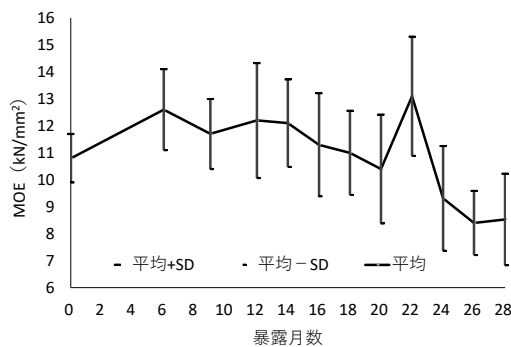
注) n_1 : 束のうち土の付着のある割竹本数
 n_2 : 束のうち土の付着のない割竹本数
 -: 検定不能 (n_1 または n_2 が小さすぎ)
 ○: 検定において5%有意 (土の付着の有無で有意にMORが異なる)

サンプリング時に各暴露試験体を土の付着の有無で分類し、同一採取年月の14本の中で土の付着の有無によってMORの値に差が出ているか、

Mann-Whitney 検定 (P=0.05) を行った (第1表)。なお、どちらかが少なすぎる場合は検定を行えていない。

14ヶ月目以降において、差が認められる傾向が見られた。すなわち、暴露から12ヶ月目くらいまでは土の付着の有無とMORとの関係は見られず、14ヶ月目以降に土に接触していると思われる試験体でMORの低下速度がより大きくなっている傾向が示され、土の付着が曲げ強度に影響することが考えられた。

3.5 見かけのヤング係数 (MOE) の推移



第7図 MOEの平均値と標準偏差の推移

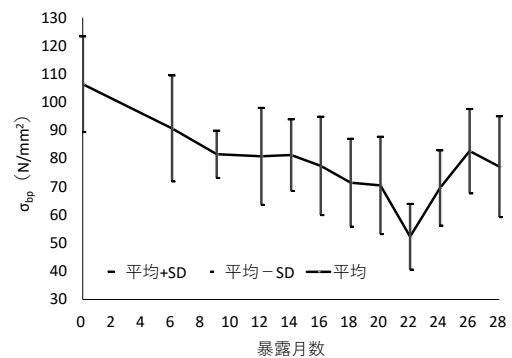
MOEの平均値と標準偏差の推移を第7図に示す。

6ヶ月目の試験体は厚さが薄いものが多く、これらの試験体はスパン材せい比が14倍よりも大きい条件で曲げ試験を行なった。そのため、計算上MOEが上昇したものと考えられる。22ヶ月目はMOEの平均値が急増しているが比例域での荷重とたわみの比がコントロール並みであった。それ以外の数値の傾向を見ると6ヶ月目以降漸減傾向を示した。暴露月数とMOEの平均値の相関係数を求めたところ-0.5802となり、負の相関があった。

3.6 外皮側から荷重時の曲げにおける比例限度応力 (σ_{bp}) の推移

外皮側から荷重時の σ_{bp} の推移を第8図に示す。

特に後半において急な下降や上昇がみられたが、全体的な傾向を掴むために暴露月数と σ_{bp} の平均値の相関係数を求めたところ-0.7072となり、強い

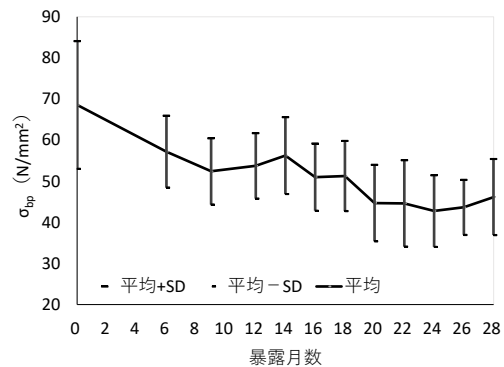


第8図 外皮側から荷重時の σ_{bp} と標準偏差の推移

負の相関があった。そのため σ_{bp} はおおむね漸減傾向であったが、24ヶ月目と26ヶ月目の上昇については現在のところ明らかでない。

3.7 内皮側から荷重時の曲げにおける比例限度応力 (σ_{bp}) の推移

内皮側から荷重時の σ_{bp} の推移を第9図に示す。全体的に既報⁸⁾と同様に外皮側から荷重時の値



第9図 内皮側から荷重時の σ_{bp} と標準偏差の推移

より小さい状態で類似した漸減傾向であった。暴露月数と σ_{bp} の平均値の相関係数を求めたところ-0.9157となり、強い負の相関があった。

3.8 杭状での暴露結果との比較結果

粗朶を実際に施工した場合における腐朽の傾向を把握できるように、3.2, 3.3, 3.5~3.7に示した今回の暴露試験体の曲げ試験結果と既報⁸⁾での暴露結果とを比較した結果を第2表に示す。

第 2 表 28 ヶ月後の各指標の変化と既報における平均値

28ヶ月後	今回（束暴露）		既報 ⁷⁾ （杭暴露）		
	平均	SD	上部	地際部	下部
密度	-16.5% ± 8.2%		-14.6%	-24.8%	-33.0%
MOR	-38.5% ± 19.7%		-4.0%	-44.7%	-59.8%
MOE	-21.0% ± 15.8%		18.9%	-16.7%	-41.3%
σ_{bp} 外	-27.5% ± 16.8%		16.6%	-32.5%	-51.9%
σ_{bp} 内	-32.7% ± 13.5%		-7.2%	-43.5%	-59.2%

密度を除いた指標では地際部に近い結果となった。一方、密度は上部に近い結果となった。これは、密度が高い外皮側¹⁰⁾が腐朽しにくく²⁾、密度が低い内皮側¹⁰⁾では腐朽しやすい²⁾ことが影響していると考えられる。木材では腐朽の指標として質量減少率が用いられることが多いが¹¹⁾、全体的には密度の変化から推定される以上の水準で劣化している恐れがあることを示す。以上から、地際部に近い劣化外力を保つ環境であることを想定することが割竹の使用にあたっては適切であると考えられる。

4. まとめ

モウソウチクの腐朽と強度の関係を調べるため、想定した使用方法に対応するために束状にして素掘りの溝に嵌合した状態で暴露試験を行った。屋外暴露された暴露試験体は定期的にサンプリングを行い、束を構成する割竹から曲げ試験体を作製して曲げ試験を行って、密度や MOR, MOE, σ_{bp} を指標として考察を行った。

嵌合した暴露試験体を構成するそれぞれの割竹における土の付着状況の経過とその影響について、MOR の暴露試験体ごとの平均値をサンプリング時における土の付着の有無で分類してまとめた。その結果、暴露後 14 ヶ月目以降において土と接触していたとみられた割竹で MOR の低下がより進んでいた、つまり腐朽がより進行している傾向が見られた。

σ_{bp} で特に暴露月数が長いものにおいては、載荷方向に関わらず平均値が全体的な傾向である漸減傾向と異なる変化をする傾向があった。これは、腐朽が極端に進行していたり停滞していたりした

試験体が含まれることが原因と考えられた。

本試験の結果を既報⁸⁾とも合わせて比較したところ、平均値を基準とした暴露前の数値からの変化率では、密度は杭の上部と、それ以外の指標では杭の地際部と近い数値であった。これは地面に溝を掘り嵌合して設置していることが原因と考えられた。木材の場合、質量減少率と強度指標には相関があるとされるが¹¹⁾、モウソウチクの場合、密度の低下がまだ小さい時点で既に強度性能が大きく低下している恐れがあると考えられる。

なお、暴露試験で使用する竹の竹齢の違いや油抜き処理及び燻煙熱処理などの有無については本報では検討されていない。また、今回、使用した割竹の追跡調査も試みたが、同定が途中で不能となり断念した。これらは今後の課題である。

謝 辞

この実験において、共著者の他に試験体の加工にあたって（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材加工・特性研究領域木工室の各位、データ処理にあたって構造利用研究領域の豊田愛子氏、試験体を食害した虫の種類の同定にあたって森林昆虫研究領域の佐藤大樹氏のご協力を賜った。ここに謝意を示す。

文 献

- 1) 山口智, 田中良明, 鈴木秀典: 森林総合研究所研究報告, 463, 217-222 (2022)
- 2) 山口智, 鈴木秀典, 田中良明, 泉田信幸: 日本森林学会大会学術講演集, 130, P1-217 (2019)
- 3) 鈴木保志, 井本勝也, 馬淵健: 高知大学農学部演習林報告, 27, 215-225 (2000)
- 4) 鳥居厚志, 奥田史郎: 森林科学, 58, 2-5 (2010)
- 5) 山口智, 鈴木秀典, 田中良明, 池田伸: 関東森林研究, 61, 249-252 (2010)
- 6) 森満範, 藤原拓哉, 宮内輝久, 杉山智昭: 日本木材学会大会研究発表要旨集, 58, CD-ROM (2008)
- 7) 山口智, 渋沢龍也, 鈴木秀典, 宗岡寛子, 田中良明, 陣川雅樹: Bamboo Journal, 32, 33-42 (2021)
- 8) 山口智, 井道裕史, 加藤英雄, 長尾博文, 渋沢

龍也, 鈴木秀典, 宗岡寛子, 田中良明, 陣川雅樹 : 木材工業, 76(7), 250-257 (2021)

9) 日本規格協会 : JIS Z 2101-2009 木材の試験方法, 日本規格協会 (2009)

10) 鈴木寧 : 東大演報, 36, 136-155 (1948)

11) 例えば, 今村祐嗣 : 木材保存, 13(4), 30-36 (1987)