

# 木材の含水率がピロディン試験値と ドライバーの貫入深さに及ぼす影響

山田 昌郎<sup>1</sup>・原 忠<sup>2</sup>・水谷 羊介<sup>3</sup>・三村 佳織<sup>4</sup>・沼田 淳紀<sup>5</sup>  
吉田 雅穂<sup>6</sup>・森 満範<sup>7</sup>・末次 大輔<sup>8</sup>・野田 龍<sup>9</sup>・梅津 啓史<sup>10</sup>

<sup>1</sup>正会員 港湾空港技術研究所 沿岸環境研究領域 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)  
E-mail: yamada-m89wm@pari.go.jp

<sup>2</sup>正会員 高知大学 教育研究部 自然科学系 農学部門 (〒783-8502 高知県南国市物部乙 200)  
E-mail: haratd@kochi-u.ac.jp

<sup>3,4</sup>正会員 兼松サステック株式会社 ジオテック事業部 (〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 3-3-2)  
<sup>3</sup>E-mail: ymizutani@ksustech.co.jp, <sup>4</sup>E-mail: k-mimura@ksustech.co.jp

<sup>5</sup>正会員 飛鳥建設株式会社 技術研究所 (〒108-0075 東京都港区港南 1-18-15)  
E-mail: Atsunori\_Numata@tobishima.co.jp

<sup>6</sup>正会員 福井工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒916-8507 福井県鯖江市下司町)  
E-mail: masaho@fukui-nct.ac.jp

<sup>7</sup>非会員 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場 (〒071-0198 旭川市西神楽 1 線 10 号)  
E-mail: mori-mitsunori@hro.or.jp

<sup>8</sup>正会員 佐賀大学 低平地沿岸海域研究センター (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町 1 番地)  
E-mail: suetsud@cc.saga-u.ac.jp

<sup>9</sup>正会員 秋田大学大学院 理工学研究科 (〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1)  
E-mail: noda@gipc.akita-u.ac.jp

<sup>10</sup>非会員 水産研究・教育機構 水産工学研究所 水産土木工学部 (〒314-0408 茨城県神栖市波崎 7620-7)  
E-mail: h0429umezu@affrc.go.jp

一般に繊維飽和点(乾量基準含水率約30%)を超える含水率は木材の力学特性に影響しないとされているが、既往の研究でピロディン試験値への影響がいくつか報告されている。本研究では、スギ、トドマツ、アカマツ、クロマツ、ベイマツ、カラマツの健全材の厚さ5cmの輪切り試験体を常圧で約28日間水に浸漬して含水率を変化させ、吸水過程と乾燥過程でピロディン試験とドライバー貫入試験を実施した。その結果、以下の結論を得た。(1)繊維飽和点を超える高い含水率の領域においても、ピロディン試験値への含水率の影響が認められた。この原因として、自由水の潤滑作用による摩擦係数の減少が考えられる。(2)スギとトドマツでは含水率のピロディン試験値への影響が大きいので、高含水率の木杭を現地で試験する場合には含水率を用いて測定値を補正し、掘り出した木杭を試験する場合には、気乾状態まで乾燥させてからピロディン試験するのがよい。一方、アカマツ、クロマツ、ベイマツ、カラマツでは、飽水状態でも腐朽の目安を30mmとしてよい。(3)ドライバー貫入深さへの含水率の影響は最大で約2~4mmであるため、一般的には無視して差し支えない。

**Key Words:** *Pilodyn wood tester, driver penetration depth, moisture content, decay assessment, wood pile*

## 1. はじめに

木杭基礎は日本では1950年代まで広く用いられ<sup>1)</sup>、また最近では地球温暖化緩和や林業再生の観点から、丸太

打設による液状化対策工法が開発され用いられている<sup>2,5)</sup>。木杭は地下水位変動域下限以深では腐朽や虫害を生じず長期の耐久性を有することが、実際に使用された木杭の掘り出し調査により報告されている<sup>6,10)</sup>。さらに多くの事

例により各種の条件と木杭の長期耐久性の関係をより明確化するために、地中で供用中の木杭の健全性を調査する機会が増加すると予測される。

これまで木杭の掘り出し調査では、目視、ピロディン試験、圧縮強度試験等により健全性を評価している。この中でピロディン試験は一定のエネルギーによるピンの貫入深さを測定する方法で、簡便で定量的なため、野外の木製部材の調査に多くの実績がある。一般的にはピロディン試験による評価の際に木材の含水率による試験値の補正は行なわれていないが、次章で述べるようにいくつかの既往の研究では、繊維飽和点を超える領域での含水率のピロディン試験値への影響が示されており、また木杭の掘り出し調査においても湿潤状態と気乾状態でピロディン試験値が大きく異なる例<sup>11)</sup>があった。

本研究では、(公社)土木学会木材工学委員会「地中用木材の耐久性評価に関する研究小委員会」による活動の一環として実施されたピロディン一斉試験結果<sup>12-15)</sup>に対して、繊維飽和点を超える領域での含水率とピロディン試験値との関係について整理した。(なお、本稿では特に断らない限り「含水率」は「乾量基準含水率」すなわち木材の全乾質量に対する水分の質量の割合を示すものとする。)

また、最近ピロディン試験よりもさらに簡便な評価方法として、一定の力でドライバーを貫入させて腐朽厚さを測定する方法が提案された<sup>16-19)</sup>。ドライバーや千枚通しを木材に突き刺して腐朽の有無を診断する刺診は従来から行なわれていたが、本方法では荷重計で押し込み力を計測しつつ所定のドライバーを突き刺すため、評価者の経験等によらず客観的・定量的な評価が可能と考えられる。また、ピロディンと異なり腐朽厚さを直接計測できることや、ピロディンの測定限界(一般に40mm)を超える腐朽厚さも計測できることも利点である。そこでこの方法についてもあわせて含水率と貫入深さの関係について実験を実施した。

## 2. ピロディン試験値と含水率の関係についての既往の研究

Hoffmeyer<sup>20,21)</sup>と Friis-Hansen<sup>22,23)</sup>は、新たな試験方法としてのピロディン試験について1978~81年に以下のように報告している。

・1970年代初めにスウェーデンで木製電柱の地際部の腐朽による劣化が労働安全面から問題となり、当時行なわれていた目視、刺診、採取コアの顕微鏡観察による腐朽判定の短所を補う方法としてピロディン試験が開発された<sup>20)</sup>。

・開発にあたってはスウェーデン、デンマーク、米国、

ニュージーランド等の機関で実験を実施し、ピンの径、打ち込みエネルギー、木の密度、樹種、含水率等の諸条件とピンの貫入深さの関係、およびピンの貫入深さと曲げ強度の相関等のデータが収集された<sup>20,22)</sup>。その中で、含水率の20%から123%への増加によって、貫入深さが30~40%増加した実験結果があり、繊維飽和点を超える含水率の変化が貫入深さに影響する可能性がある<sup>20)</sup>。

・電柱の地際部では含水率が繊維飽和点の直上の狭い範囲に限られるので含水率による貫入深さの補正は不要だが、水に浸かっている杭では補正係数の導入を考慮すべきかもしれない<sup>22)</sup>。

その後、繊維飽和点を超える含水率とピロディン試験値の関係について、以下のような報告がなされている。

・Smithら<sup>24)</sup>は、3本のベイマツ丸太から採取した5cm×5cm×5cmの試験体106個の含水率を、調湿及び真空・加圧含浸により6~170%としてピロディン試験した結果、含水率30%以上では含水率とピロディン試験値に有意な相関が認められなかった。

・飯島<sup>25)</sup>は、未乾燥のスギ円柱加工材100本(直径9~17cm,長さ180cm,含水率22.8~123.5%)についてのピロディン試験結果から、最良重回帰式( $R^2=0.487$ )として次式を示した。

$$Pe=39.8-47.56R_{30}+0.0545M_C \quad (1)$$

$Pe$ : ピロディン測定値 (mm)

$R_{30}$ : 含水率30%時の密度 ( $g/cm^3$ )

$M_C$ : 試験時の含水率 (%)

・津島<sup>26)</sup>は、スギ5個体、ヒノキ、ベイマツ、ユリノキ、ケヤキ、クスギ各1個体の試験体(5cm×5cm×40cm)を真空・加圧含浸装置で吸水させた後、40°Cで熱風乾燥し、数日毎に試験した結果、ピロディン測定値は含水率50%以上ではほぼ一定であったが、含水率50%以下では含水率の低下とともに小さくなる傾向を示した。

・増田<sup>27)</sup>は、35本のスギ3.5cm角材と16本のヒノキ3cm角材から、1本当たり9個の試験体(長さ9cm)を採取し、全乾状態、気乾状態(含水率13%)、含水率20%(温度20°C,相対湿度87%の恒温恒湿器で調湿)、および飽水状態(減圧加圧装置で注水)でピロディン試験を行なった結果、飽水状態と他の状態の間に有意差があった。直径2.5mmのピン貫入深さの平均値は、スギでは含水率20%で26mm,飽水で32mm,ヒノキでは含水率20%で13mm,飽水で18mmであった。

・皆川ら<sup>28)</sup>は、スギ丸棒10本(直径8cm,長さ2m)の自然乾燥過程(含水率約160%~10%)でピロディン試験を行ない、直径2.5mmのピン貫入深さ $y$ (mm)と含水率 $x$ (%)の回帰式( $r=0.735$ )として次式を示した。

$$y=0.047x+16.0 \quad (2)$$

・Llanaら<sup>29)</sup>は、ヨーロッパクロマツの角材(10cm×15cm×50cm)25体について、自然乾燥過程(含水率65%~8%)

でピロディン試験を行なった。ピン貫入深さの平均値は、含水率 65%で 18.0mm, 45%で 16.5mm, 20%で 15.1mm であった。

・佐山ら<sup>30)</sup>は、5本のスギ 6cm 角材から、1本当たり 6個の試験体(長さ 30cm)を採取し、含水率 15%, 30%, 50%, 100%, 150%, 200%に達するまで浸漬後、ピロディン試験とドライバー貫入試験を行なった。その結果、ピロディン試験値  $y$  (mm) と含水率  $x$  (%) の回帰式 ( $r=0.791$ ) として次式を示した。

$$y=0.0405x+21.576 \quad (3)$$

また、マイナドライバー(先端幅 3mm, 先端厚 0.70mm, 軸径 2.92mm)の荷重 150Nでの貫入深さ  $y$  (mm) と含水率  $x$  (%) の回帰式 ( $r=0.497$ ) として次式を示した。

$$y=0.0107x+6.1037 \quad (4)$$

### 3. 実験方法

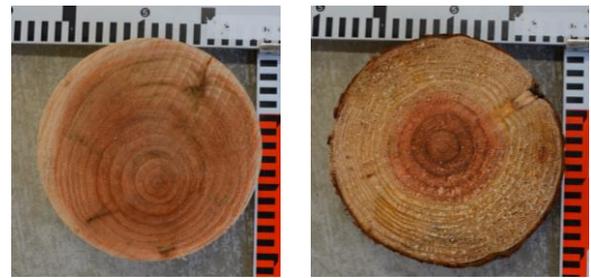
#### (1) 試験体

試験体の木口面を写真-1に示す。表-1に示すような8本の母材を輪切りにして試験体として用いた。輪切り試験体の厚さ(繊維方向の長さ)は約 5cm とした。

表-1 試験体

母材	産地	加工	直径 (mm)	年輪幅 (mm)	密度* (g/cm <sup>3</sup> )
スギ1	福島県	円柱材	149	5.6	0.334
スギ2	宮崎県	皮付き	157	5.0	0.341
トドマツ1	北海道	剥皮	130	4.0	0.349
トドマツ2	北海道	剥皮	134	3.1	0.362
アカマツ	鹿児島県	皮付き	220	3.2	0.467
クロマツ	静岡県	剥皮	124	2.2	0.542
ベイマツ	カナダ	剥皮	157	1.7	0.587
カラマツ	北海道	剥皮	137	2.4	0.635

(\*含水率 15%に換算した密度)



スギ1

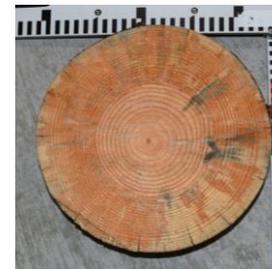
スギ2



トドマツ1



トドマツ2



アカマツ



クロマツ



ベイマツ



カラマツ

写真-1 試験体木口面

#### (2) 試験方法

##### a) 試験実施機関

表-2に示すように、2015年度は7機関でピロディン試験を実施し、2016年度は9機関でピロディン試験、6機関でドライバー貫入試験を実施した。表-1の試験体のうち、スギ1, スギ2, トドマツ1, カラマツを2015年度に、トドマツ2, アカマツ, クロマツ, ベイマツを2016年度に試験した。

##### b) 試験器

ピロディン試験器としては、市販されている標準的な仕様(打ち込みエネルギー6J, ピン直径 2.5mm, 測定限界 40mm)のものを用了。

表-2 試験実施機関と試験項目

試験実施機関	2015年度	2016年度
道総研林産試験場	P	P
秋田大学	-	P,D
水産工学研究所	-	P,D
飛鳥建設	P	P
兼松サステック	P	P
港湾空港技術研究所	P	P,D
福井工業高等専門学校	P	P,D
高知大学	P	P,D
佐賀大学	-	D
佐賀県林業試験場	P	P

(P:ピロディン試験, D:ドライバー貫入試験)



写真-2 ピロディン試験器

ドライバー貫入試験は、試験法提案者の報告<sup>16,17)</sup>に基づき、マイナスドライバー(No.9900,先端幅及び軸径3mm,先端厚0.45mm)を荷重測定器(フォースゲージPS-500N)に装着して使用した。なお、ドライバーは先端からの長さ約90mmに切断し、アタッチメント(GC-5)を介して荷重測定器に装着した。また、貫入深さ読み取りを容易にするため、ゴムリングをドライバー軸部に装着した。



写真-3 ドライバー+荷重測定器

### c) 試験手順

各機関では配布された試験体の質量・寸法の計測と、ピロディン試験またはドライバー貫入試験を行なった。ピロディンのピンまたはドライバーの貫入方向は、試験体の周面から芯に向かう方向とし、測定回数は各4回として4方向からの測定値の平均値を求めた。ドライバー貫入試験では、試験法提案者の報告<sup>16,17)</sup>に基づき、マイナスドライバーの先端幅方向を木材繊維方向と平行にし、勢いをつけずに人力で押し込み、荷重150Nのときのドライバーの貫入深さを測定した。

次に、含水率を変化させるため試験体を水道水中に浸漬し、浸漬期間1日、3日、7日、14日を目安に試験体を水中から取り出して、ウェスで表面を拭いた後質量を計測し、ピロディン試験またはドライバー貫入試験を行ない、再度質量を計測した後、浸漬を再開した。貫入試験前後の質量の平均値を各回の質量の値とした。浸漬期間28日を目安に同様の計測を行なった後、試験体を気中に置いて自然乾燥させ、乾燥過程においても2~9回同様の計測を行なった。

自然乾燥終了後、試験体を105°Cで炉乾燥し、6時間の質量変化が0.5%以下に収まれば全乾とみなし、このときの質量を全乾質量とした。この全乾質量 $W_d$ と、各測定時の質量 $W_w$ から、式(5)を用いて各測定時の乾量基準含水率 $M_d$ を求めた。また、式(6),(7)から相対含水率 $M_s$ を求めた。 $M_s$ は、試験体のとりうる最大の乾量基準含水率(飽水含水率) $M_{max}$ に対する比であり、0~100%の値をとる。

$$M_d = (W_w - W_d) / W_d \times 100 \quad (5)$$

$$M_{max} = (1/R - 1/1.5) \times 100 \quad (6)$$

$$M_s = M_d / M_{max} \times 100 \quad (7)$$

式(6)で、 $R$ :容積密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ 、全乾質量 $W_d$ を飽水状態での試料の体積 $V_{max}$ で割った数値、なお $V_{max}$ としては28日間水に浸漬した試験体の体積を浮力法で測定した値を用いた。)

1/1.5:水の密度/木材の真密度(空隙を除いた密度)で、水の密度を $1\text{g}/\text{cm}^3$ 、木材の真密度を $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ とした<sup>3)</sup>。

### d) 静的ピン貫入試験

以上の試験終了後、トドマツ2の輪切り試験体1体を用いて、ピロディン試験器用のピンの静的貫入試験を行なった。ねじ式一軸試験機(東京試験機製小型卓上試験機リトルセンスター-LSC-1/30-2)のクロスヘッドにピンを装着し、変位速度 $0.1\text{mm}/\text{s}$ でピンを試験体に貫入させた。

変位増分 $0.1\text{mm}$ 毎に変位と荷重をデータロガーで計測し、変位約 $7\text{mm}$ まで貫入させた。変位増分と荷重の積を累積した値を貫入に要した仕事量(消費エネルギー)とみなし、仕事量が $0.8\text{J}$ に達したときの変位の値を求めた。含水率を変化させる方法や測定回数はc)と同様とした。



写真-4 静的ピン貫入試験状況

## 4. 実験結果および考察

### (1) ピロディン試験結果

ピロディン試験値と乾量基準含水率の関係を図-1に、相対含水率との関係を図-2に示す。図の各プロットは4測定値の平均値を示す。4測定値の変動係数の平均値は10.9%であった。(なおスギ2では、測定限界の40mmを超えた測定が11回あり、これを40mmと見なして平均値を求めたプロット点が9個ある。)

一般に乾量基準含水率28~30%(繊維飽和点)で木材細胞壁中の結合水は飽和し、繊維飽和点を超える含水率の増加は細胞内腔の自由水の増加であり、木材の力学特性には影響しないとされている<sup>32)</sup>。しかし今回の実験結果では、2章で紹介したいくつかの既往研究<sup>21,25,27,30)</sup>と同様に、乾量基準含水率が30%を超える領域でも、含水率

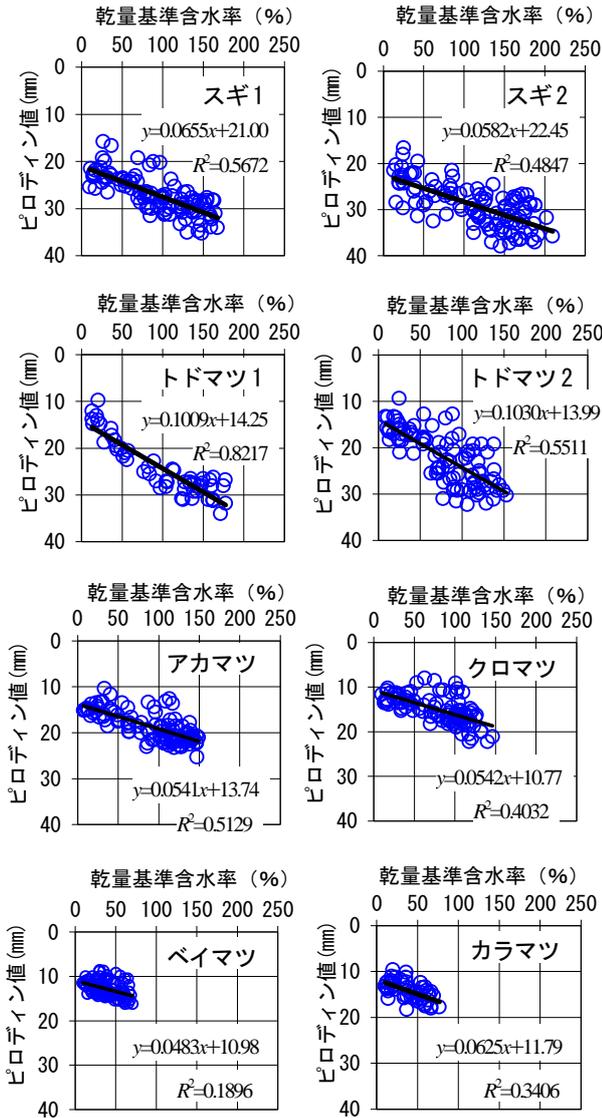


図-1 ピロディン試験値と乾量基準含水率の関係

の増加とともにピロディン試験値が増加する傾向が見られた。近似曲線の種類として線形、指数、対数、累乗、分数関数を仮定して寄与率  $R^2$  を求めた結果、表-3 に例を示すように線形近似の  $R^2$  が最大となったので、図には線形回帰式を示した。

表-3 近似曲線の種類と  $R^2$  の一例 (アカマツ)

近似の種類	近似曲線	$R^2$
線形近似	$y=0.0541x+13.74$	0.5129
指数近似	$y=13.93 e^{0.003x}$	0.4924
対数近似	$y=2.978 \ln x+5.77$	0.4548
累乗近似	$y=8.887 x^{0.1676}$	0.4391
分数近似	$y=-74.6/x+19.99$	0.2678

回帰式の勾配は、図-1 (乾量基準含水率) ではトドマツが他樹種よりも大きく、図-2 (相対含水率) ではトドマツ>スギ>他樹種であった。(なお、吸水過程と乾燥過程で回帰式の勾配に有意な差はなかった。)

相対含水率が 100%となるのは細胞内腔が水で満たさ

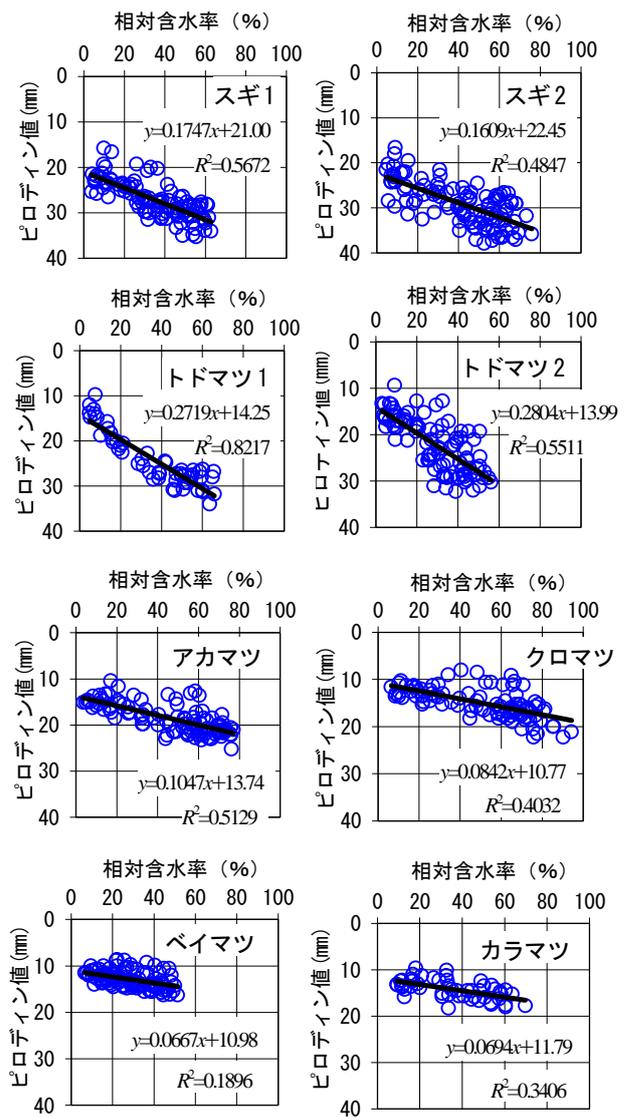


図-2 ピロディン試験値と相対含水率の関係

れた飽水状態である。今回の試験体は厚さ 5cm の輪切り試験体であるため、木口面からの吸水により水が浸入しやすく、常圧での 28 日間の浸漬でも相対含水率が約 50% (ベイマツ) ~ 約 100% (クロマツ) に達した。木杭では主として周面からの吸水となるが、長期間地下水位以下に存在すればいずれは飽水状態に達すると考えられる。すなわち地下水位以下で長期供用後に掘り出した直後の木杭や、供用中の木杭では、相対含水率が 100% に近いと考えられる。

標準的なピロディン (エネルギー 6J, ピン直径 2.5mm) の試験値で、腐朽の目安として用いられる値は木材の用途や樹種によって異なり、治山用スギ杭で 35mm<sup>25)</sup>、土木用カラマツ丸太で 30mm<sup>33)</sup>、木造住宅のスギの柱で 20mm<sup>34)</sup> などが提案されている。図-2 で回帰直線を相対含水率 100% まで延長すると、スギとトドマツではピロディン試験値が約 40mm となるので、飽水状態のスギとトドマツでは腐朽していなくても半分程度の試験値が測定限界の

40mm に達することになる。このため、スギとトドマツの高含水率の木杭を現地で試験する場合には、成長錐などで採取したコアの含水率を用いて、今回の実験結果の回帰式などからピロディン試験値を補正し、掘り出した木杭を試験する場合には、気乾状態まで乾燥させてからピロディン試験するのがよいと考えられる。一方、アカマツ、クロマツ、ベイマツ、カラマツでは、図-2で回帰直線を相対含水率 100%まで延長したとき、データのばらつきを考慮しても測定値が 30mm を超えることはまれであると推測されることから、飽水状態でも腐朽の目安を 30mm としてよいと考えられる。

静的ピン貫入試験で、仕事量が 0.8J に達したときの貫入深さと含水率の関係を図-3に示す。静的試験では含水率が繊維飽和点を超えると影響が小さくなった。このことから、繊維飽和点を超える含水率がピロディン試験値に大きく影響する原因は、ピン貫入の高速性にあるのではないかと考えられる。

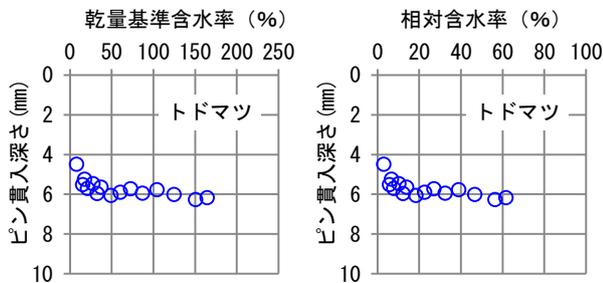


図-3 ピロディンのピンを 0.1mm/s で貫入させて仕事量が 0.8J に達したときの貫入深さと含水率の関係

鋼面と木材面の摩擦についての村瀬<sup>35)</sup>の実験結果によれば、5m/s を超える高すべり速度の領域では、多量の自由水の存在による潤滑作用によって摩擦係数は極めて小さな値となる。また、山下ら<sup>36)</sup>はピロディンのピン貫入部のスギ柎目断面の観察から、破壊された部分がピンの貫入方向に移動することによって、それ以降のピンの貫入に対して常に抵抗となった可能性を指摘している。こうしたピンと破壊部分との摩擦抵抗が自由水の増加とともに減少することが、高含水率ほど貫入深さが増大する一因と考えられる。

(2) ドライバー貫入試験結果

ドライバー貫入深さと乾量基準含水率の関係を図-4に、相対含水率との関係を図-5に示す。図の各プロットは 4 測定値の平均値を示す。4 測定値の変動係数の平均値は 19.9%であった。

ドライバー貫入深さに対しても、繊維飽和点を超える含水率の影響が認められた。図-4の回帰式の勾配は 0.0121~0.0195mm/%であり、この実験精度とばらつきを考えると、2章で紹介した既往研究<sup>30)</sup>での 0.0107 mm/%とほぼ

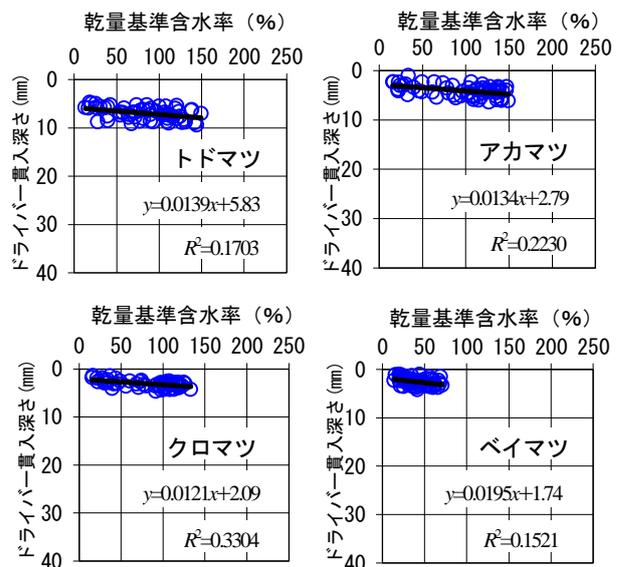


図-4 ドライバー貫入深さと乾量基準含水率の関係

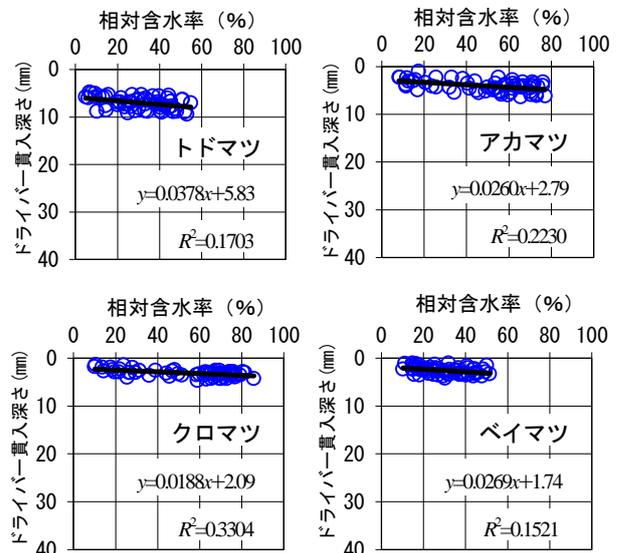


図-5 ドライバー貫入深さと相対含水率の関係

同じオーダーの値である。

繊維飽和点を超える含水率の影響の原因としては、ピロディンと同様に、自由水の潤滑作用による摩擦係数の減少が考えられる。ドライバーは勢いをつけずに人力で押し込んだが、変位制御の静的載荷ではないので、貫入する際のすべり速度は今回の静的試験時の変位速度 (0.1mm/s) よりも高かった可能性がある。

ちなみに著者の一人が行なった実験<sup>37)</sup>の結果では、ドライバー押し込み荷重が 150N に達するまでの時間は 3~5s で、貫入深さが約 4mm であったことから、平均貫入速度は約 0.8~1.3mm/s であった。

図-5の回帰直線の勾配は約 0.018~0.038mm/%であり、相対含水率が 100%増減しても貫入深さの増減は約 2~4mm である。実際の腐朽厚さの測定では、腐朽部を貫通

したドライバーが健全部に到達して数 mm 入り込んで止まる。今回の試験体は健全材であるので、測定した貫入深さは健全部への入り込み量に相当する。腐朽厚さを mm 単位で正確に測定したい場合は、健全部への入り込み量の含水状態による数 mm の変化も考慮した方がよいが、一般的にはドライバー貫入深さへの含水率の影響は無視しても実用上差し支えないと考えられる。

## 5. 結論

本研究では、スギ、トドマツ、アカマツ、クロマツ、ベイマツ、カラマツの健全材の輪切り試験体を用いて、含水率とピロディン試験値およびドライバー貫入深さの関係を検討した。その結果、以下のような結論が得られた。

1) 繊維飽和点を超える高い含水率の領域においても、ピロディン試験値への含水率の影響が認められた。この現象の一因として、自由水の潤滑作用による摩擦係数の減少が考えられる。

2) スギとトドマツでは含水率のピロディン試験値への影響が大きいので、高含水率の木杭を現地で試験する場合には含水率を用いて測定値を補正し、掘り出した木杭を試験する場合には、気乾状態まで乾燥させてからピロディン試験するのがよいと考えられる。一方、アカマツ、クロマツ、ベイマツ、カラマツでは、飽水状態でも腐朽の目安を 30mm としてよいと考えられる。

3) ドライバー貫入深さへの含水率の影響は、最大で約 2~4mm であるため、一般的には無視して差し支えないと考えられる。

**謝辞：**本研究は（公社）土木学会木材工学委員会「地中使用する木材の耐久性評価に関する研究小委員会」の活動の一環として実施した。実験の実施に当たっては、飛鳥建設（株）の知久倫子氏、兼松サステック（株）の手塚大介氏・五十嵐盟氏、高知大学の小林かなほ氏・林聖淳氏、木材利用研究会（佐賀）ならびに佐賀県林業試験場にご協力いただいた。また本論文の査読者からは的確な修正意見をいただいた。これらの諸氏に厚く謝意を表するものである。

## 参考文献

- 1) 沼田淳紀, 吉田雅穂, 濱田政則: 1964 年新潟地震における木材による液状化対策事例, 木材学会誌, Vol.55, No.5, pp.305-315, 2009.
- 2) 富松義晴, 沼田淳紀, 濱田政則, 三輪滋, 本山寛: 持続可能社会へ向けた土木事業における木材利用の提案, 土木学会論文集 F4, Vol. 68, No.2, pp.80-91, 2012.
- 3) 沼田淳紀, 村田拓海, Riaz, S., 三村佳織, 原忠: 大型振動実験による丸太打設の液状化対策効果, 土木学会論文集 A1, Vol. 71, No.4, pp.274-283, 2015.
- 4) 三輪滋, 吉田雅穂, 村田拓海, 沼田淳紀: 丸太打設による既設戸建て住宅の液状化対策の小型振動実験および数値解析による検討, 土木学会論文集 A1, Vol. 72, No.4, pp.117-128, 2016.
- 5) 水谷羊介: 木材の地中利用の可能性と利用事例, 木材保存, Vol.42, No.4, pp.190-198, 2016.
- 6) 中村裕昭, 濱田政則, 本山寛, 沼田淳紀: 地中に使用した木材の長期耐久性に関する事例調査, 環境地盤工学シンポジウム発表論文集, Vol.9, pp.277-282, 2011.
- 7) 中村裕昭, 濱田政則, 沼田淳紀: 土木分野での木材地中利用の歴史的事例, 木材利用研究論文報告集, Vol.11, pp.95-101, 2012.
- 8) 土木学会木材工学委員会編: 木材利用ライブラリー 005—国内の構造物基礎における木材利用事例と設計方法の変遷, 2012.
- 9) Mimura, K., Hara, T., Kato, H., Hirata, A., Mitsui, K.: Soundness assessment of structural wood members after 60 years of submersion, *CD-ROM Proc. of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016)*, Paper ID: GS3-01B, pp.1-8, 2016.
- 10) 三村佳織, 原忠, 加藤英雄, 本田賢児, 中内卓也: 汽水域における木材の劣化要因に関する考察, 木材保存, Vol.43, No.1, pp.2-12, 2017.
- 11) 沼田淳紀, 上杉章雄, 吉田雅穂, 久保光, 野村崇: 足羽川で採取した木杭調査の概要, 環境地盤工学シンポジウム発表論文集, Vol.7, pp.85-90, 2007.
- 12) 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（（一社）日本森林学会・（一社）日本木材学会・（公社）土木学会）,（公社）土木学会木材工学委員会: 2015 年度土木における木材の利用拡大に関する横断的研究報告書, pp.9-11, 2016.
- 13) 山田昌郎, 原忠, 水谷羊介, 三村佳織, 沼田淳紀, 森満範, 吉田雅穂, 末次大輔: ピロディンによる測定値と木材含水率の関係についての一斉試験, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集 CD-ROM, 2016.
- 14) 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（（一社）日本森林学会・（一社）日本木材学会・（公社）土木学会）,（公社）土木学会木材工学委員会: 2016 年度土木における木材の利用拡大に関する横断的研究報告書, pp.53-56, 2017.
- 15) 山田昌郎, 原忠, 水谷羊介, 三村佳織, 沼田淳紀, 中村克彦, 吉田雅穂, 森満範, 末次大輔, 野田龍: 木材の含水率がピロディンとドライバーの貫入深さに及ぼす影響に関する一斉試験, 土木学会第 72 回年次学術講演会概要集 CD-ROM, 2017.
- 16) 内藤洋司, 真柄泰央, 南谷将光, 山内仁人, 白田寿生, 和多田友宏, 明石浩和, 石川芳治: 木製山ダムの維持管理手法—簡便で効果的な腐朽厚の測定—, 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集 A, pp.268-269, 2015.
- 17) 明石浩和, 森拓郎, 田淵敦士: 木製山ダム部材の簡便な劣化診断手法, 第 66 回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM, 2016.
- 18) 木製山構造物技術指針検討会: 木製山構造物技術指針（案）（耐久性を期待する木製山構造物の

- 設計・施工・維持管理), 2016.
- 19) 野田龍, 佐山達哉, 佐藤利樹, 後藤文彦, 佐々木貴信: フォースゲージを用いた劣化診断手法の開発, (公社)日本木材保存協会第33回年次大会研究発表論文集, pp.22-23, 2017.
  - 20) Hoffmeyer, P.: The Pilodyn instrument as a non-destructive tester of the shock resistance of wood, *Proc. of 4th Nondestructive Testing of Wood Symposium*, pp.47-66, 1978.
  - 21) Hoffmeyer, P.: An analysis of the Pilodyn method for NDT of wood, *Paper summaries of American Society for Non-destructive Testing National Conference, Spring/Fall*, pp.51-57, 1981.
  - 22) Friis-Hansen, H.: Methods of assessing decay in poles in service with the Pilodyn wood tester, *IRG document, IRG/WP/2107A*, 1978.
  - 23) Friis-Hansen, H.: A summary of tests and practical experiences with the Pilodyn wood testing instrument, *IRG document, IRG/WP/282*, 1980.
  - 24) Smith, S.M., Morrell, J.J.: Correcting Pilodyn measurement of Douglas-fir for different moisture levels, *Forest Products Journal*, Vol.36, No.1, pp.45-46, 1986.
  - 25) 飯島泰男: 土木用木質構造物の耐用年数評価について, *木材保存*, Vol.25, No.5, pp.209-218, 1999.
  - 26) 津島俊治: ピロディン打込み深さに影響を与える諸要因, *九州森林研究*, No.55, pp.192-195, 2002.
  - 27) 増田勝則: ストライカーピンの径を変化させた時のピロディンの貫入深さと材の破壊範囲, *奈良県森林技術センター研究報告*, No.36, pp.27-36, 2007.
  - 28) 皆川隆一, 大西裕二: 品質保証された県産スギ構造用製材の生産のための試験, 平成18年度宮城県林業試験場業務報告(第40号), pp.1-2, 2007.
  - 29) Llana, D.F., Hermoso, E., Izquierdo, S.T., Bobadilla, I., Íñiguez-González, G.: The effect of moisture content on nondestructive probing measurements, *Proc. of 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*, pp.187-191, 2015.
  - 30) 佐山達哉, 野田龍: 水分変動下におけるピン打ち込み抵抗特性, 第67回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM, 2017.
  - 31) 中田了五: 樹木の wetwood 現象と定義, *木材学会誌*, Vol.60, No.2, pp.63-79, 2014.
  - 32) 森林総合研究所監修: 改訂4版 木材工業ハンドブック, p.114, 丸善, 2004.
  - 33) 森満範, 宮内輝久, 杉山智昭, 前田典昭, 藤原拓哉, 今井良: 北海道内で土木資材として使用されているカラマツの耐朽性, *北海道立林産試験場報* Vol.20, No.1, pp.17-24, 2006.
  - 34) 秦正徳, 中谷浩, 若島嘉明, 園田里見: 長期耐用された地域型木造住宅の耐震診断におけるピロディンしきい値, *木材保存*, Vol.30, No.1, pp.6-14, 2004.
  - 35) 村瀬安英: 高速域における木材の摩擦特性, *木材学会誌*, Vol.26, No.2, pp.61-65, 1980.
  - 36) 山下香菜, 岡田直紀, 藤原健: ピロディンを用いた容積密度推定法とスギ生材丸太のクラス分けへの応用, *木材学会誌*, Vol. 53, No. 2, pp.72-81, 2007.
  - 37) 野田龍: 未発表資料

(2017.8.31 受付)

## EFFECTS OF MOISTURE CONTENTS OF WOOD ON PILODYN TEST VALUES AND DRIVER PENETRATION DEPTHS

Masao YAMADA, Tadashi HARA, Yosuke MIZUTANI, Kaori MIMURA,  
Atsunori NUMATA, Masaho YOSHIDA, Mitsunori MORI,  
Daisuke SUETSUGU, Ryu NODA and Hiroshi UMEZU

Although it is said that mechanical properties of wood are generally not affected by moisture contents over fiber saturation point (f.s.p.) which is about 30% of dry basis moisture content, some researchers have reported that Pilodyn test values might be affected. In this study, Pilodyn tests and driver penetration tests were conducted on the 5cm thick round slices of sound logs of *Sugi* (*Cryptomeria japonica*), *Todomatsu* (*Abies sachalinensis*), *Akamatsu* (*Pinus densiflora*), *Kuromatsu* (*Pinus thunbergii*), *Beimatsu* (*Pseudotsuga menziesii*) and *Karamatsu* (*Larix kaempferi*), which were soaked in water under normal pressure for 28 days and then dried in the air. The results were as the followings. (1) Moisture contents over f.s.p. had significant effects on Pilodyn test values. That phenomenon may be caused by the reduction of friction coefficient due to lubricating action of free water. (2) Since moisture contents over f.s.p. have large effects on the Pilodyn test values of *Sugi* and *Todomatsu*, field test values for wood of these species with high moisture contents should be corrected considering the moisture contents, and the unearthed wood piles should be tested after drying to air-dry state. Meanwhile, it may be reasonable to set 30mm as the criterion of decay for *Akamatsu*, *Kuromatsu*, *Beimatsu* and *Karamatsu* even in the water saturated state. (3) Since the effects of moisture contents on driver penetration depths are no larger than about 2 - 4mm, they can be ignored generally.