

# 地盤中の木材腐朽実験

## Experiment on underground wood decay

沼田 淳紀<sup>\*1</sup>

Atsunori Numata

勝山 義史<sup>\*2</sup>

Yoshifumi Katsuyama

鈴木 忠好<sup>\*4</sup>

Tadayoshi Suzuki

上杉 章雄<sup>\*1</sup>

Akio Uesugi

坂梨 和哉<sup>\*3</sup>

Kazuuya Sakanashi

向谷 常松<sup>\*1</sup>

Tsunematsu Mukaidani

直井 義政<sup>\*4</sup>

Yoshimasa Naoi

### 【要旨】

地球温暖化防止対策の一つとして木材を土木工事に用いることを考えている。この場合、腐朽の生じる条件を明らかにするとともに腐朽対策を検討する必要がある。地下水位を変動させることのできる模型地盤に、腐朽対策を行った木杭および無処理の木杭を埋設し、対策効果の検討を行った。腐朽対策としては、ワックス状樹脂、粘性土、砂（密、緩）による被覆とした。木杭は直径 8cm、長さ 1m のスギおよびカラマツとし、地下水位は 1 日周期で 30cm の変動がある。埋設後 7 ヶ月の時点では無対策を含め腐朽は認められなかった。ただし、無対策では黒色の変色が認められ、ワックス状樹脂被覆と粘性土被覆では木杭表面に変色が全く認められず、腐朽対策効果が高い可能性があることが分かった。

【キーワード】 木杭 腐朽対策 地球温暖化対策 模型地盤 地下水位

### 1. はじめに

地球温暖化対策の一つとして木材の積極的な利用が考えられる<sup>1)</sup>。土木工事に木材を用いることを考えた場合、腐朽に対し不安を持たれるので、この点を明らかにしておく必要がある。筆者らは、各所で掘出された丸太基礎などの木杭を入手し、その健全性を評価してきた。この結果、地中に埋設された木材は、地下水位以下では腐朽しないが、地下水位の変動域内およびそれより上の部分については、腐朽する場合があることが分かった<sup>1),2)</sup>。

このことから、木材を地下水位変動域、および、それより上で使用する場合には腐朽対策が必要とされる場合が生じる。そこで、地中に用いる木材に対しての腐朽対策を考案し、この腐朽対策の効果、および、地下水位変動と木材腐朽について検討するため、大型および中型の土槽を用いた模型地盤による木材腐朽実験を行った。本報ではこの実験の概要と実験 7 ヶ月後の結果について述べる。

### 2. 研究の背景

2008 年より京都議定書の約束期間がいよいよ開始された。日本は、2008 年～2012 年の間の年間平均温室効果ガス排出量を 1990 年水準比 6%削減しなければならない

こととなる。1990 年以降の温室効果ガスは現在むしろ増加しており、この目標達成は決して容易ではない。生産時に CO<sub>2</sub> 排出量の大きいセメントや鉄の国内生産量は、1950 年代以降の高度経済成長期に爆発的に増加し、1973 年のオイルショック頃よりある幅を持って頭打ちとなっているが、その生産量は 1950 年初期と比較すると十倍から数十倍となっている。一方、長期使用すれば大気中の CO<sub>2</sub> 削減に寄与する木材の国内生産量は、1960 年代をピークに減少を続け、現在ではピーク時の 1/3 以下となり<sup>3)</sup>、林業は衰退するにいたった。これには建設事業も大きく関わってきたといえる。そこで、筆者らは、地球温暖化対策を考慮した持続可能な建設事業を進める上で、建設材料の一つの方向性として、土、石、木といった自然材料をもっと積極的に使用することを提案している<sup>1)</sup>。特に、木材は、現在では土木工事の本工事で積極的に使用することはほぼ皆無となってしまったが、「土木」という表現からもわかるように古来使用されてきている。木材を大量に使用すると逆に CO<sub>2</sub> 排出に繋がると誤解される場合があるが、木材利用の増加は間伐や植林といった林業の活性化に繋がるとともに、仮に木材を燃焼させてもカーボンニュートラルなので CO<sub>2</sub> 増加とはならない<sup>3)</sup>。京都議定書に示される日本の温室効果ガス削減目標 6%

※1 技術研究所、※2 北陸建築事業部、※3 九州土木事業部、※4 北陸土木事業部



写真-1 実験状況 (囲いの一部を取り外した状態)

の内3.8%は森林吸収に期待している。ただし、これは整備された森林が対象である。このような整備された森林経営を行うためには、地域材(国産材)による木材利用が必要であり、林野庁では、2004年で1,700万 $m^3$ である木材供給・利用量を2015年には2,300万 $m^3$ に促進するとしている(「森林・林業基本計画」)。杭基礎についてみると、現在使用されているコンクリート杭や鋼管杭の歴史は浅く、木杭基礎の歴史は洋の東西を問わずむしろこれよりはるか古い<sup>23)</sup>。このような長い歴史を持つ土木技術を復活させることで、土木事業を進めつつも、地球温暖化対策や林業の活性化といったことまでも同時に進めていくことが必要になってきていると考える。

### 3. 腐朽対策実験

#### 3.1 実験目的

土槽を用いた模型地盤による木材腐朽実験の目的は以下の3つである。

- ①各地下水変動域における腐朽状況の確認
- ②スギとカラマツの腐朽状況の確認
- ③各腐朽対策効果の確認

#### 3.2 実験方法

##### (1) 実験の概要

木材の腐朽程度を評価する試験として、「ファンガスセラー試験」(JIS K 1571:2004「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準」に記載)がある。ファンガスセラー試験は、未殺菌の土壌に木材を埋設し、木材腐朽菌が活動しやすい温度および湿度の条件に調節しながら木材腐朽を促進させる室内試験である。本実験はこのファンガスセラー試験を応用した。

写真-1に実験状況を、図-1に実験概要図(断面模式図)を示す。実験は、土槽内に腐朽した木片を混合した土壌を入れ、試験用の木材を埋設し腐朽の程度を調べた。土槽内には地下水位を設けるとともに、この水位を

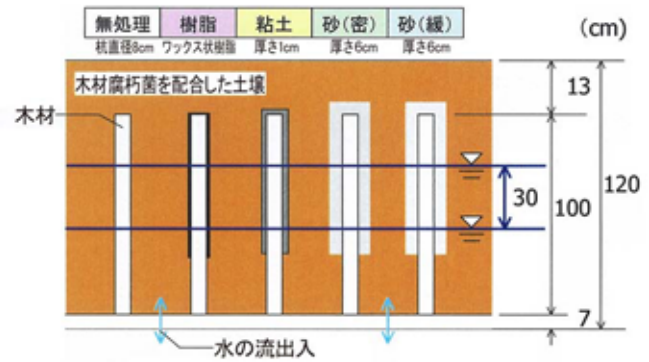


図-1 実験概要図(断面模式図)

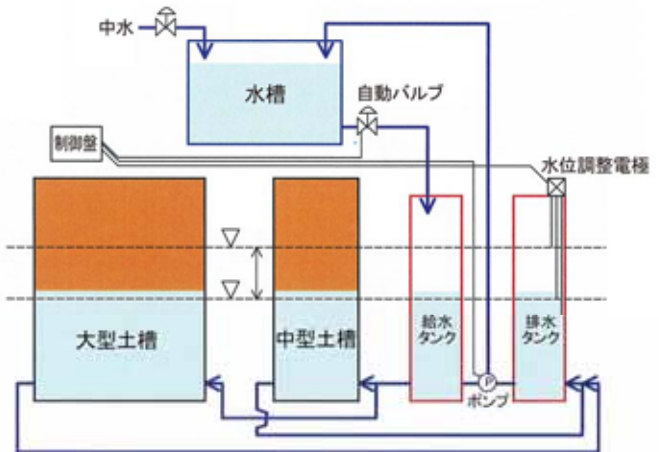


図-2 水位調整システムの概要

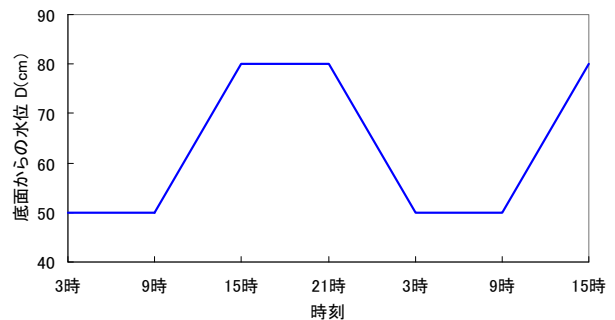


図-3 水位変動の模式図

周期的に変動させ、「地下水水位変動域」、「変動域より上」、「変動域より下」の3ゾーンを作り出した。

##### (2) 水位調整システム

図-2に水位調整システムの概要を示す。当該実験では大型土槽および中型土槽の2つの土槽に木材を埋設した。2つの土槽は、給水タンクおよび排水タンクを介して水槽と接続されている。制御盤の操作により設定した時間に水位を変化させることができる。この際、水位は排水タンクに設置された電極で感知される。排水タンク、給水タンク、中型土槽、大型土槽はそれぞれ連通しているので、給排水によって水位変動がおこっても4者の自由水面は同レベルを保とうとする。土槽での水位は、水位計を設置し記録されている。水は、土槽と水槽の間を行

き来し、ほとんどは交換されないが、蒸発等により不足した分は中水が水槽に随時追加される。図-3に水位変動の模式図を示す。水位は日周期で30cm変動させた。

大型土槽では、無処理の木材と4種類の処理した木材を埋設し、腐朽状況を比較した。中型土槽では、土壌の締固め密度を2種類に変えて、締固め程度による影響を調べた。

### (3) 使用木材

木材は、長さ1m、直径8cmの円柱材を用いた。これは直径8cmより太い原木の外側を削って整形されたもので、軸（年輪の中心）を含む。

樹種はスギとカラマツとした。スギは福井県美山森林組合から購入した福井県産の間伐材である。カラマツは宮城県内の製材所で加工された国産材であるが生産地は不明である。

使用木材は、軸がなるべく中心にあるものを選定した。また、カラマツについては心材と辺材の区別が明瞭ではなかったため留意しなかったが、スギについては外周面（木口面以外）全体が辺材となっているものを選定した。

### (4) 腐朽対策方法

木材の腐朽とは、菌類が木材を分解することであり、この菌類を木材腐朽菌と呼ぶ。木材腐朽菌は好気性菌であり、酸素がない状態では成長できない<sup>4)</sup>。これより腐朽防止のためには、木材への酸素の供給を遮断することが有効である。そこで、地下水位変動域以浅について、木材の周囲に空気を遮断する層を設けることを考えた。

大型土槽では空気を遮断する方法として、最低地下水位の約10cm下から上の部分について次の4方法を実施した。

#### ①ワックス状樹脂による被覆

木材にワックス状樹脂を塗布した。ワックス状樹脂には、「特開 60-190494 号」の原理を用いて電線被覆管に利用されたオレフィン系廃プラを解重合・低粘度化して製造した液体状の物質を用いた。この樹脂は、廃プラスチックを原料として製造されるもので、100℃程度で塗布可能な液状となり常温で固形状となる。色は黒色である。

#### ②粘性土による被覆

木材を厚さ約1cmの粘性土で被覆した。粘性土として藤森粘土<sup>5)</sup>を用いた。被覆作業は、含水比40%に調整した粘性土をヘラなどを用いて所定の厚さになるように、木材に張りつけた。さらに粘性土を保護するため薄手の不織布（厚さ約0.15mm）で被覆した。土壌に埋設するまでは粘性土が乾燥しないようにラップフィルムで被覆した。

#### ③砂層による被覆（2種類）

木材の周囲約6cm（木材中心から半径10cm）を砂で被覆した。砂は密に締固めたものと緩く締固め

たものの2種類を設けた。密な砂の乾燥密度は1.58g/cm<sup>3</sup>、緩い砂の乾燥密度は1.25g/cm<sup>3</sup>とした。

### (5) 土槽の寸法および木材の配置

図-4に土槽における木材配置図を示す。大型土槽の内寸は、長さ×幅×高さ=4.0m×1.0m×1.2mであり、中型土槽は、長さ×幅×高さ=2.0m×0.5m×1.2mである。土槽は鉄製だが、長手方向の側面は透明なアクリル板が張られ、内部が観察可能である。底面にはフィルター付きの給排水孔が大型土槽で8個、中型土槽で4個設置されている。

大型土槽の木材配置は、無処理および4種類の腐朽対策の組みがスギ、カラマツそれぞれについて4組（+アクリル壁面に貼り付けた半割れのもの4組）となっている。アクリル面には半割りにした木材を貼り付けた。これは腐朽対策の効果を観察できるようにしたもので、木材とアクリルとの接合面は、土壌が接合面に侵入しないようにシリコンシーラントにより接合面外周部をシールした。

中型土槽内の土壌は、締固め程度を2種類に変えた。一方は、乾燥密度が木材打設後に0.45g/cm<sup>3</sup>となるように、もう一方は0.56g/cm<sup>3</sup>となるようにした。それぞれの密度に対して、無処理のスギ10本、カラマツ5本を埋設した。

大型、中型それぞれについて、実験開始後、土槽内部では地下水位の変動が速やかに生じていないことが判明した。このため、垂直方向にドレーンを設置した。ドレーンは、直径5mmのクレモナロープ（クレモナはビニロンとポリエステル混紡）を利用し、これを2つ折りにして模型地盤表面から底面（排水材上面）まで挿入した。

### (6) 土槽への木材埋設方法

大型土槽への木材の設置は、土槽底面に配置した木製板に木材を固定し、その後に土壌を投入した。

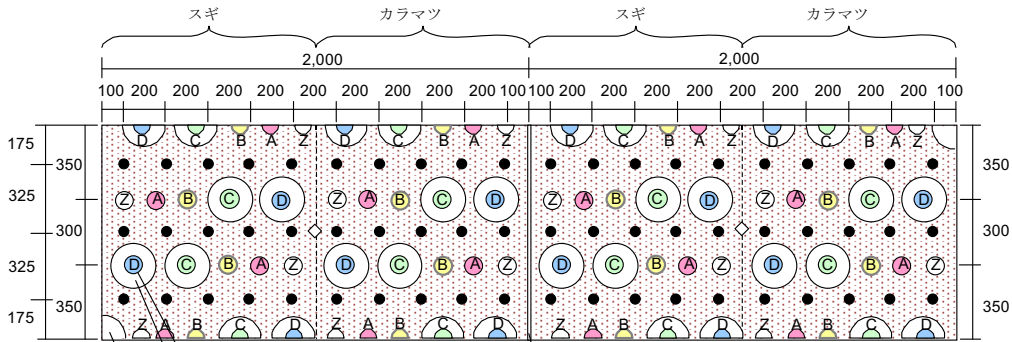
無処理、ワックス状樹脂塗布および粘性土被覆で処理された木材については、木材を土槽に固定後に土壌を投入したが、砂の被覆は土壌の投入と平行して行った。土壌は、所定の乾燥密度を満たすように、締固め後の層厚10cmごとに必要な土壌の質量を計量し、まずその約半量を投入、ある程度突固めた後に、残りを投入し、層厚10cmとなるように突固めた。突固めは木製ないし金属性の棒を用いた。

砂で被覆した木材には内径200mm、高さ200mm、厚さ約1mmの円筒をかぶせ、土壌と同様に砂の必要質量を計量し、層厚5cmずつ突固めてから円筒を5cm上方にずらすという作業を、周囲への土壌投入の進捗に合わせて実施した。写真-2に砂による被覆状況を示す。

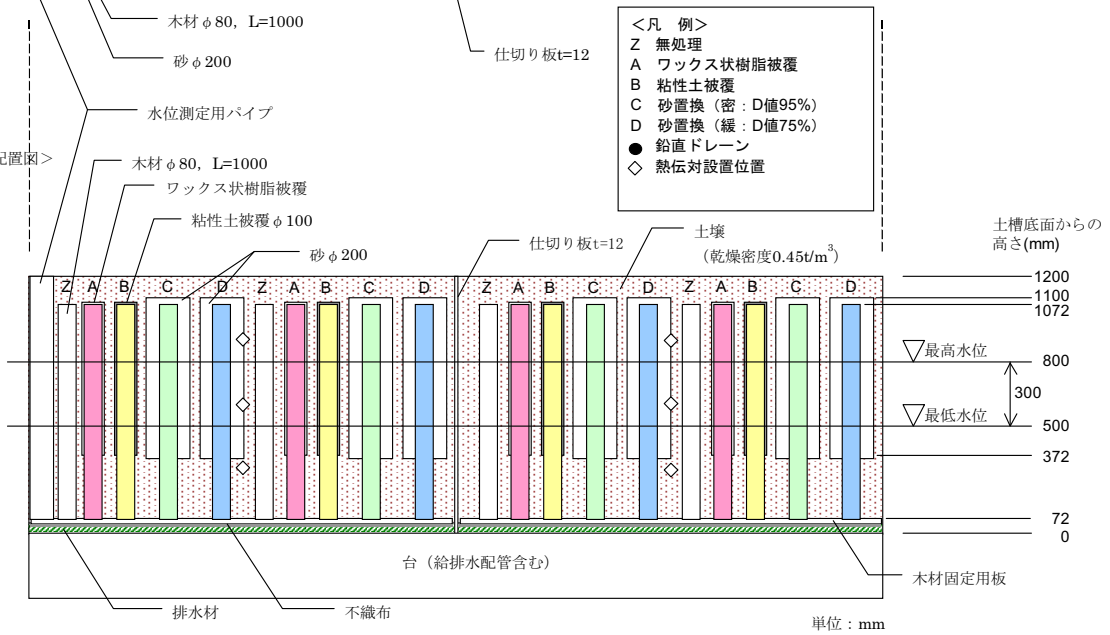
また、一部の砂は、実験室内であらかじめ所定の大きさおよび密度になるように砂を整形した後に冷凍し、これを土壌の投入よりやや先行して木材周囲に設置した。

中型土槽では、先に土壌を投入した後に、先端を尖らせた木材を掛矢を用いて打ち込んだ。なお、大型土槽、

<平面配置図>

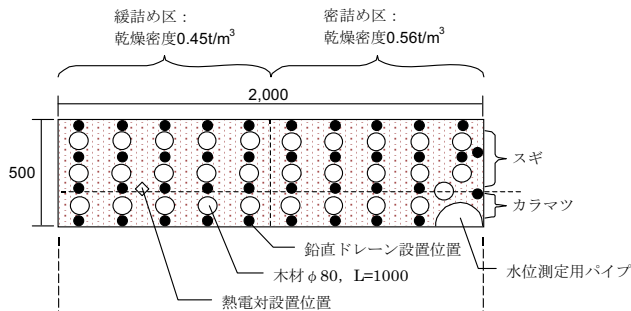


<断面配置図>

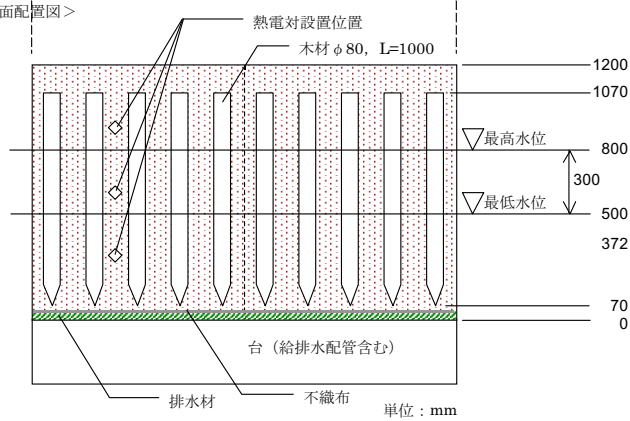


(a) 大型土槽

<平面配置図>



<断面配置図>



(b) 中型土槽

図-4 土槽における木材配置図

中型土槽ともに木材は末口を下にした。

### (7) 温度の管理

実験では温度管理を実施した。土槽の周囲には高さ×幅×奥行き=4.3m×5m×5.5mの囲いを設置し、囲いの内部は冷暖房を行った。囲いの内側には断熱材として厚さ3cmのスタイロフォームを貼り付けた。

図-4には熱電対の位置を併記した。これにより室内気温と土槽内の温度を測定した。ファンガスセラール試験に関する文献<sup>4)</sup>を参考に、土槽内の温度を $26\pm 2^{\circ}\text{C}$ に維持するように努めた。

## 3.3 実験に用いた土質

### (1) 土壌

まず、配合土を作成した。配合土は、黒土、鹿沼土およびバーミキュライトをそれぞれ6:2:2(容積比)=60:20:6(乾燥質量比)の比で混合したものである。この配合については、ファンガスセラール試験の事例<sup>4)</sup>「殖壤土:鹿沼土:バーミキュライト=6:2:2(容積比)」を参考とした。

さらにこの配合土に、腐朽した木材を混合し試験用土壌とした。まず腐朽菌を培養するために腐朽した木材を採集し、前述の配合土を入れ約2ヶ月間室内に保管した(これを培養土と呼ぶ)。腐朽菌の生育に好適な環境とするために、室内の温度は $26\pm 2^{\circ}\text{C}$ <sup>4)</sup>に、土壌水分については散水などにより土壌水分計(株)ケット科学研究所製HJ-510)の計測値で $0.007\sim 0.04\text{MPa}$ <sup>4)</sup>になるように管理を行った。次に、前述の配合土83.5kg(湿潤質量)にこの培養土を4kg(湿潤質量)の割合で混合し、腐朽試験用土壌とした。

腐朽した木材を配合する前の配合土の粒度組成を図-5に示す。配合土は地盤工学的にはシルトに分類される。配合土の締固め曲線および締固め透水曲線を図-6に示す。 $\rho_{\text{dmax}}=0.586\text{g/cm}^3$ より、この約75%を大型土槽および中型土槽の目標乾燥密度 $0.450\text{g/cm}^3$ と設定するとともに、約95%を中型土槽の密詰め乾燥密度 $0.556\text{g/cm}^3$ と設定した。図中の2本の点線は、中型土槽における地盤作製後の緩詰めおよび密詰めそれぞれから採取した試料の乾燥密度と透水係数である。緩詰めの透水係数 $k=8\times 10^{-5}\text{cm/s}$ 、密詰めの透水係数 $k=2\times 10^{-5}\text{cm/s}$ であった。

### (2) 砂

腐朽対策に用いた砂は、利根川砂:函館シルト:北海道T砂=4:3:3(乾燥質量比)にて混合したものである(以下、混合砂と称す)。

図-7に混合砂の締固め曲線および締固め透水曲線を示す。最大乾燥密度は $\rho_{\text{dmax}}=1.662\text{g/cm}^3$ である。この約75%を緩砂の乾燥密度 $1.247\text{g/cm}^3$ と設定するとともに、約95%を密砂の乾燥密度 $1.579\text{g/cm}^3$ と設定した。

### (3) 粘性土



写真-2 砂による被覆状況

腐朽対策に用いた粘性土は、藤森粘土<sup>5)</sup>である。木材を被覆する際には、整形しやすい範囲でなるべく含水比を低くするように検討し、含水比 $w=40\%$ とした。

## 3.4 実験に用いた木材の諸特性

実験に用いた木材の気乾状態における平均的な諸特性を以下に示す。

### (1) スギ

- ①含水比: 15.9%
- ②乾燥密度:  $0.37\text{g/cm}^3$
- ③平均年輪幅: 5.5mm
- ④縦圧縮強さ: 30.0MPa
- ⑤ピロディン貫入量: 14.3mm

### (2) カラマツ

- ①含水比: 13.9%
- ②乾燥密度:  $0.43\text{g/cm}^3$
- ③平均年輪幅: 4.2mm
- ④縦圧縮強さ: 37.1MPa
- ⑤ピロディン貫入量: 12.6mm

## 3.5 木材に関する測定方法

### (1) 初期状態の木材の処理

スギおよびカラマツそれぞれ8本を選定し、性状を測定した。4本を飽和(飽水)状態、残りの4本を気乾状態にて保管しその後に試験に供した。

飽和および気乾状態のそれぞれの木材について、次の要領で1本の木材から縦圧縮試験用供試体とピロディン試験用供試体を4個ずつ得た。

木材を25cm間隔で切断し、このうち下側(末口側)16cm分を切断して縦圧縮試験に供した。残りの部分についてはピロディン試験に供した。

### (2) 掘出し木材の処理

中型土槽の木材については、掘出した木材を次のように処理した。図-8に木材の測定区画を示す。

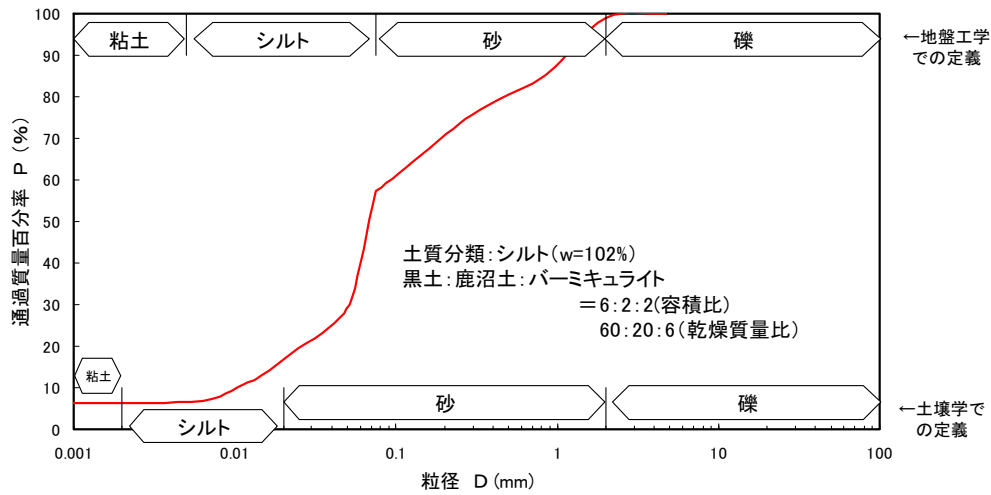


図-5 配合土(黒土・鹿沼土・バーミキュライト)の粒度組成

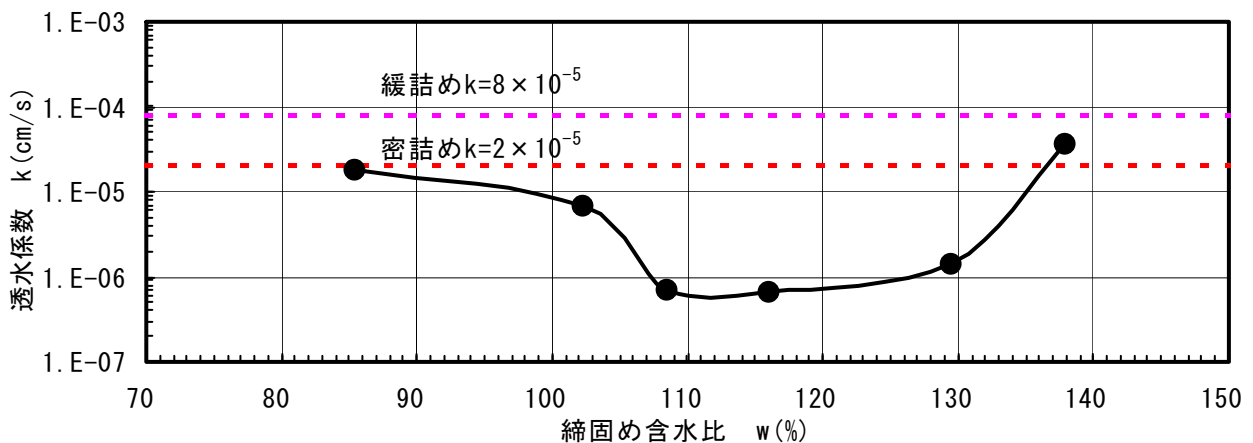
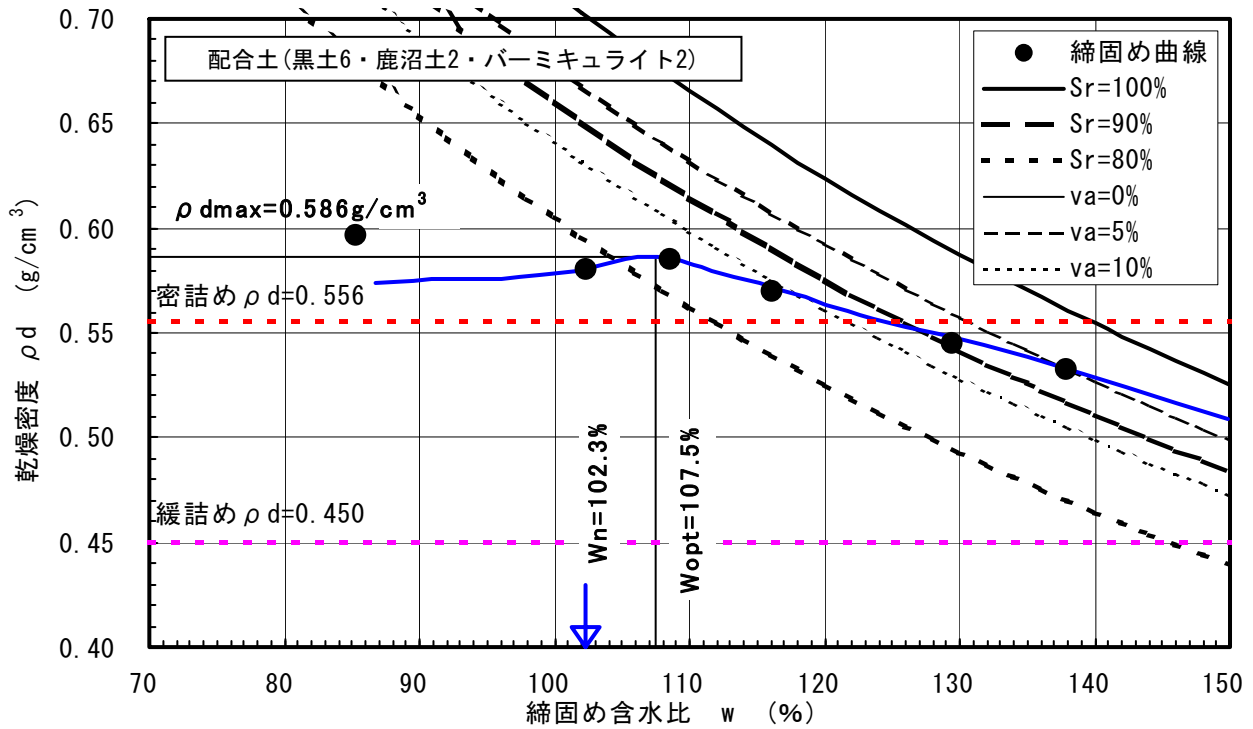


図-6 配合土(黒土・鹿沼土・バーミキュライト)の締固め曲線および締固め透水曲線

- ①掘出した木材を水で洗浄し、図-8に示す実線の位置で切斷した。末口からの距離で17cm, 50cm, 79cmの位置では切斷時におが屑を採取し、このおが屑を地盤工学における土粒子の密度試験JISA1202（木材実質密度に相当）に供した。
- ②掘出し時含水比を測定する部位については速やかに表面水を拭き取り、湿潤質量を測定し、乾燥炉に入れた。
- ③目視評価用の枠（正方形）を図-8に示す位置に円周方向に木材中心から90° ずつずらして4つ設け、枠内について目視評価を実施した。
- ④掘出し時含水比測定用以外の部分について飽和化の処理を施した。

⑤飽和化完了後、ピロディン試験および縦圧縮試験を実施した。

### (3) 目視評価

目視評価は先述した目視評価用の枠内について、JIS K1571:2004に記載の目視観察による腐朽度判定を行った。判定基準を表-1に示す。

### (4) 飽和化処理

木材の強度は供試体の含水比の影響を受けることが知られている。一方、実際に埋設されている木材は、地中の地下水位以下に長期間あれば飽和していると考えられる。以上のことから供試体の飽和化を実施した。

木材の飽和化は、次のように行った。図-9に示す真

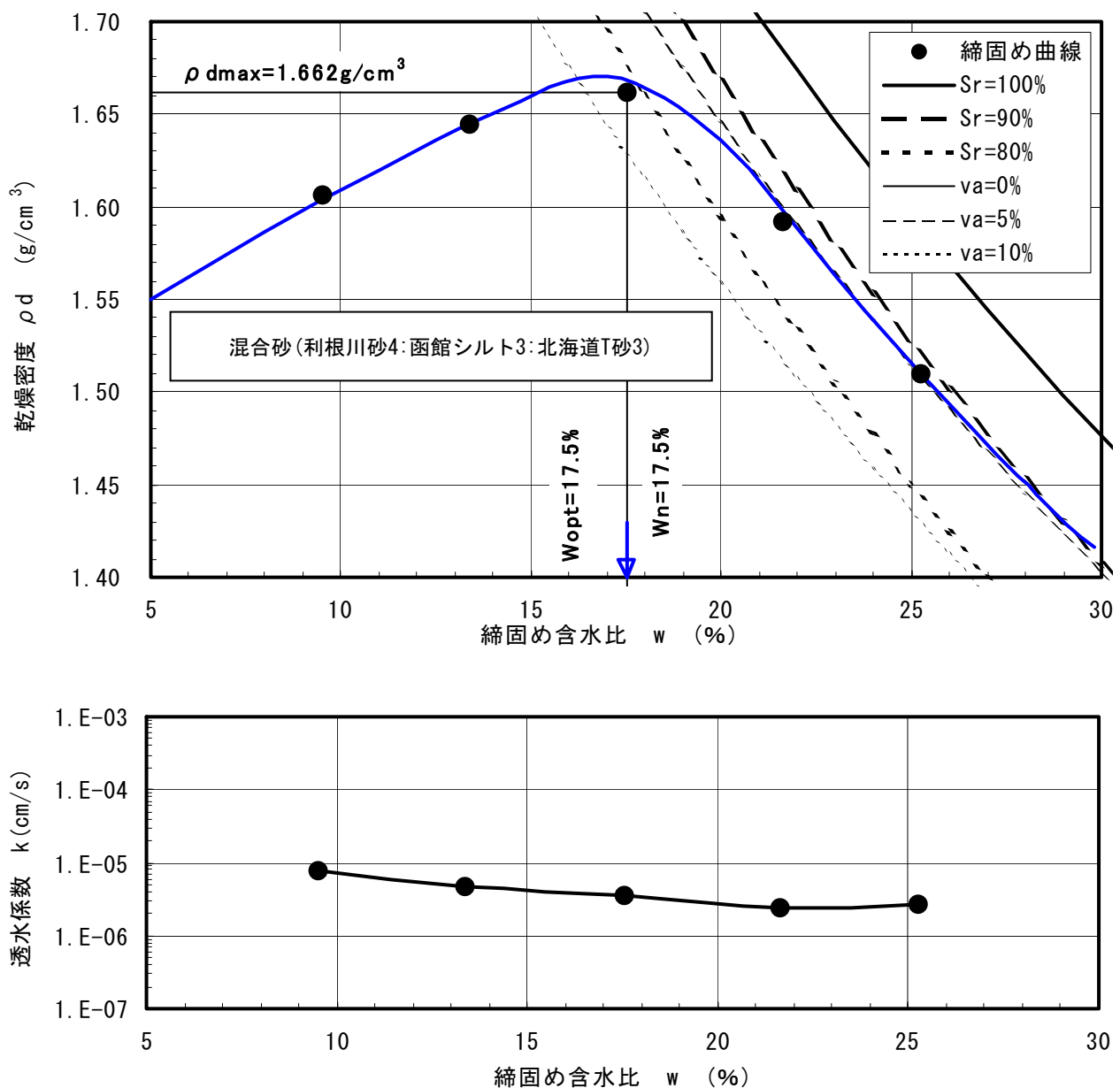


図-7 混合砂（利根川砂・函館シルト・北海道T砂）の締固め曲線および締固め透水曲線

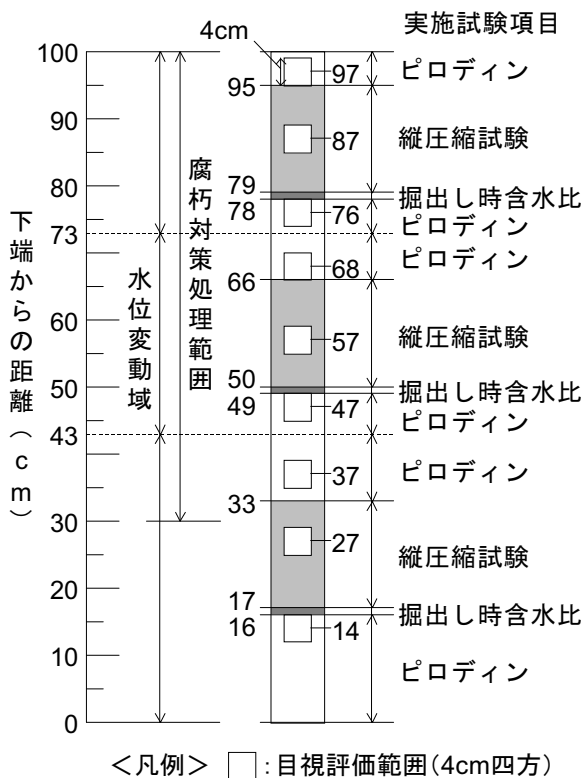


図-8 木材の測定区画

表-1 腐朽度の判定基準 (JIS K1571:2004 より)

判定	基準
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽
2	全面的に軽度の腐朽
3	2の状態の上に部分的に激しい腐朽
4	全面的に激しい腐朽
5	腐朽によって形が崩れる

真空チャンバーに木材を入れ、チャンバー内を真空状態にし半日程度放置する。チャンバー内を真空状態に保ったまま十分に脱気した水をチャンバー下部より流し込み、木材を十分に脱気水に浸す。さらにこの状態で半日以上真空状態を保つ。その後、上のバルブを開放しチャンバー内を大気圧に戻す。この時に木材が浮き上がるようであれば再度バルブを閉じ、チャンバー内を真空状態に保ちさらに数日間放置する。大気圧に戻した状態で、さらに三日以上水に浸したまま放置する。一度飽和化した木材は試験に供するまで水に浸したまま保管した。

スギについては、上記の方法により飽和化することができたが、カラマツについては木材が容易に沈まず、飽和化できなかった。カラマツが飽和化しなかった理由として、試験前の段階で木材が乾燥し過ぎ、仮道管有縁壁孔が閉鎖し、水を通しにくい状態になってしまったことが考えられる。

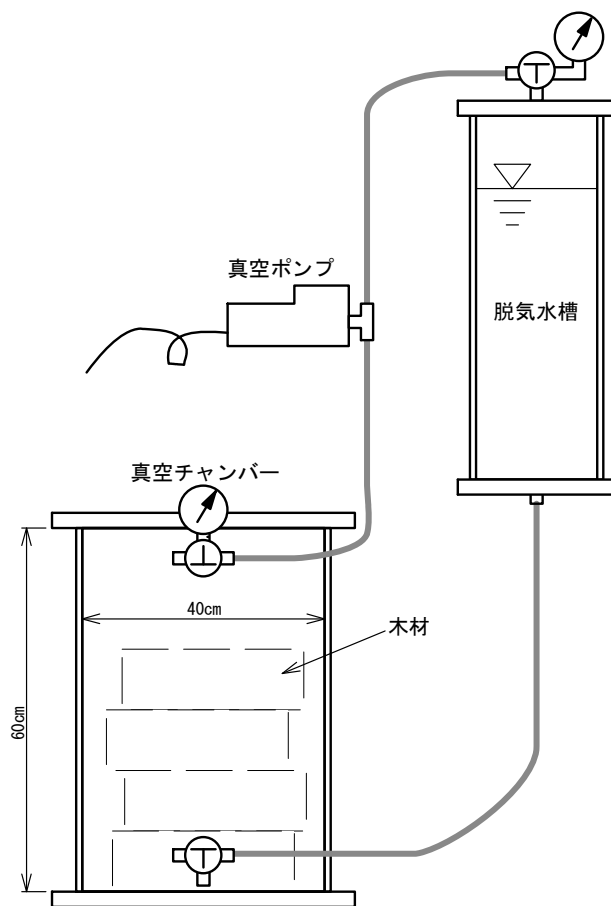


図-9 木材の飽和化に用いた真空チャンバー



写真-3 ピロディン試験機

### (5) ピロディン試験

ピロディン試験は、木材腐朽の程度を知るため実施するもので、ばねの力により直径2.5mmのスチール製打ち込みピンを木材へ貫入させ、ピンの貫入量を計測するものである。写真-3にピロディン試験機を示す。

ピロディン試験は、図-8に示された位置について、木材周囲面において木材中心から90°ごとに4点、周囲面から木材中心に向かってピンを貫入させた。

### (6) 縦圧縮試験

木材の繊維方向（長軸方向）に荷重を与える圧縮試験



表-2 実験工程

実施事項	週																																																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47								
腐朽した木材の養生(腐朽菌の培養)																																																							
配合土の作成, 腐朽木材の混合																																																							
大型土槽への木材設置																																																							
大型土槽への土壌投入・締固め																																																							
中型土槽への土壌投入・木材打設																																																							
地下水調整装置運転開始																																																							
空調運転																																																							
大型土槽へのドレーン設置																																																							
中型土槽へのドレーン設置																																																							
中型土槽からの掘出し(3ヵ月後)																																																							
中型土槽からの掘出し(4ヵ月後)																																																							
大型土槽表層耕起, 腐朽木材追加																																																							
投光器による加温																																																							
大型土槽表層耕起, かなな屑混合																																																							
大型土槽からの掘出し(7ヵ月後)																																																							
囲い開口(温度低下)																																																							

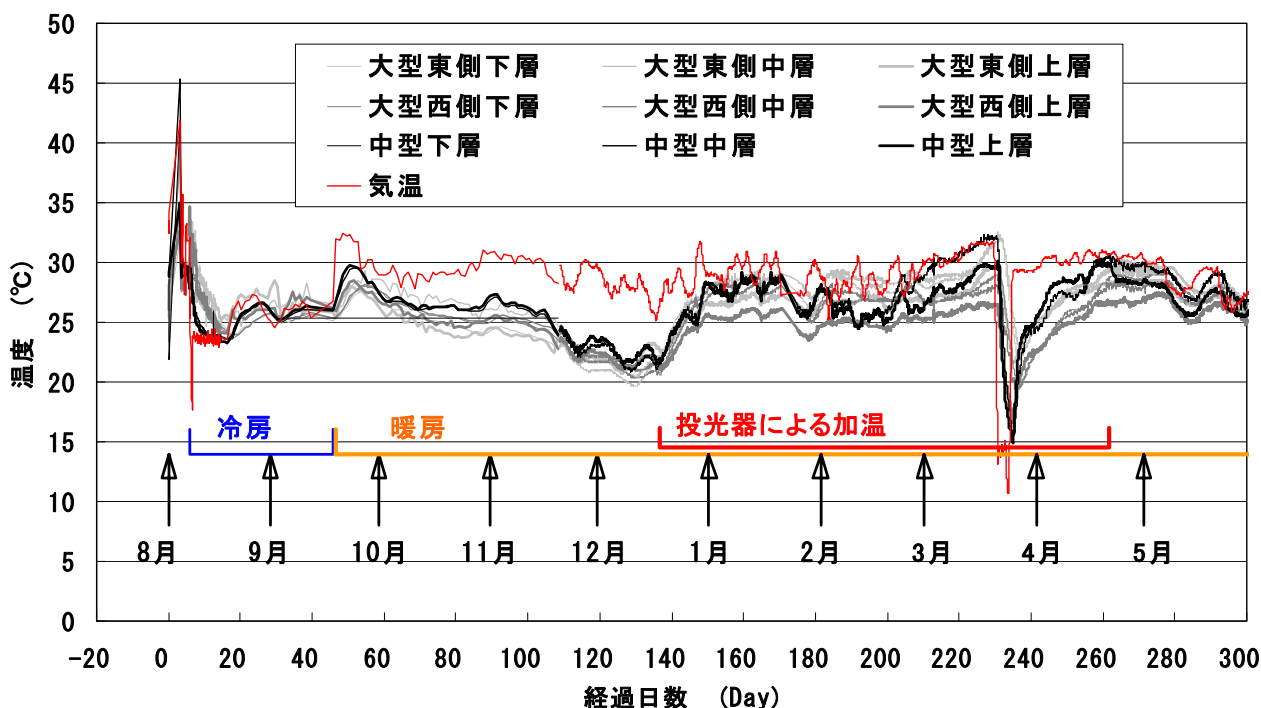


図-10 土槽および室内温度の推移

を縦圧縮試験と呼ぶ。先述の直径8cm, 高さ16cmの供試体について, JIS Z 2101に準じて縦圧縮試験を実施した。

「平均年輪幅」(年輪にほぼ垂直方向の同一直線上における年輪幅の平均値)についても, JIS Z 2101に記載の方法に従い測定した。

(7) 含水比

掘出し時含水比測定用木材, 測定後のピロディン試験体, および, 縦圧縮試験体については, 含水比 $w = (\text{湿潤質量} - \text{乾燥質量}) / \text{乾燥質量} \times 100(\%)$ を測定した。試料の乾燥は110℃で行った。試料の乾燥時間は一定質量になるまでとし, 掘出し時含水比測定用木材は1日, ピロディン

試験および縦圧縮試験体については体積が大きいため約1~2ヶ月を要した。

(8) 密度試験

木材切断時に発生したおが屑について, 木材実質部分の密度を測定した。測定方法は, JIS A 1202に規定される「土粒子の密度試験」を準用した。

(9) 掘出し時期および本数

実験開始後約3ヶ月の時点および4ヶ月の時点にて, 中型土槽の緩詰め地盤および密詰め地盤からそれぞれスギ2本, カラマツ1本ずつを掘出して, 目視評価を行った後に飽和化を行った。

また、約7ヵ月後の時点では大型土槽から無処理および4種類の腐朽対策木材それぞれ1本ずつを掘出し、目視評価を行った。

### 3.6 実験の工程

木材腐朽に影響すると考えられる実験工程を表-2に示した。

投光器による加温とは、冬期にエアコンのみでは暖房能力が不足したため、囲い内に投光器を設置し床面を照らすことで温度を上昇させたものである。

第31週目には、事前に表層土壌を耕し軟らかくし、腐朽したスギの木片を新たに土槽表層に差し込んだ。

第33週目には、木材腐朽菌の栄養分として、かんな屑を大型土槽の表層に混合した。

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 温度および水位の記録

土槽および室内温度の推移を図-10に示す。8月上旬は、エアコン稼働前の高温と稼働後に急速に冷房を行った反動により温度が大きく上下したが、9月には概ね安定した。冬期にエアコンの暖房能力が不足し、11月、12月は25℃を下回った。しかし、投光器を設置し加温したことで、それ以降は概ね25℃以上を維持することができた。3月下旬に温度が低いのは、囲いの一部を取り外したためである。

水位変動について、大型土槽での計測結果の一例を図-11に示す。これは、土槽に設置した水位観測用パイプ内の水位を水位計で記録したものである。水位の変動は、9時および21時から急速に変化するものの、変化は次第に緩やかになり、最高水位ないし最低水位の状態にある時間は僅かであることがわかる。これは、土壌内における水位変化が水位観測用パイプ内よりはるかに遅いことを示していると考えられる。土壌内の水位はゆっくりと変化し、9時および21時といった水位変化時刻の直前に

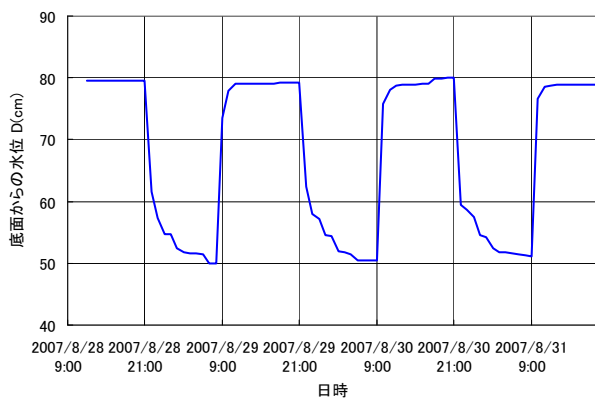
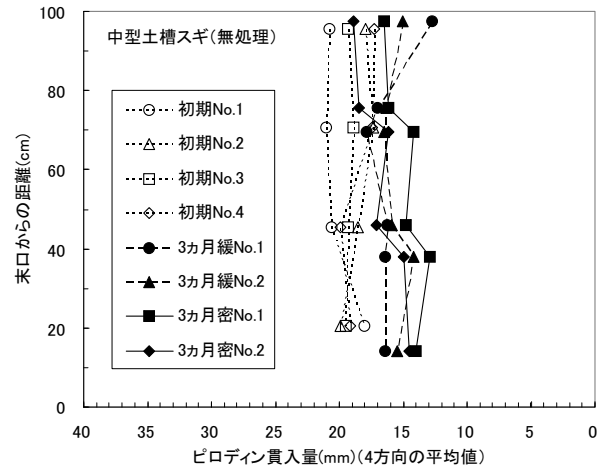
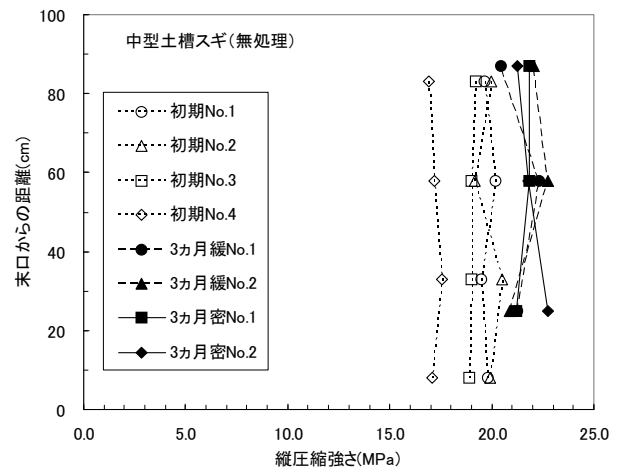


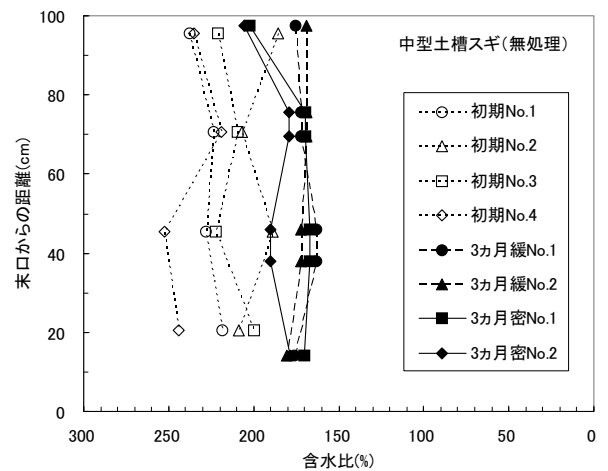
図-11 水位変動記録の一例



(a) ピロディン貫入量



(b) 縦圧縮強さ



(c) 含水比

図-12 木材のピロディン試験、縦圧縮試験および含水比試験の結果（飽和状態）



写真-4 7ヵ月後に掘出されたスギの表面状況

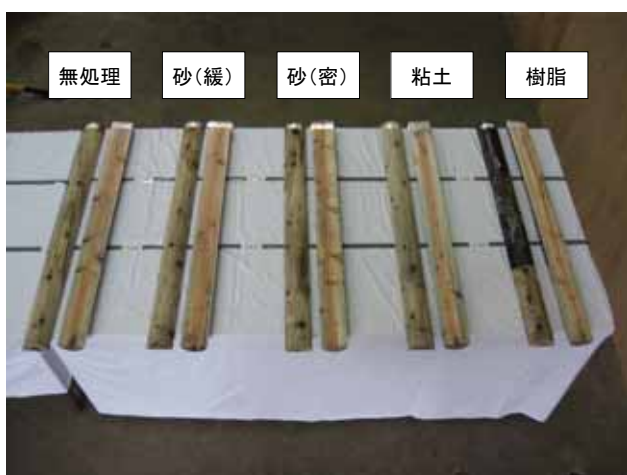


写真-5 7ヵ月後に掘出されたスギの断面状況

ようやく最低水位ないし最高水位に到達しているものと考えられる。

また、一時的に水位変動がほとんど停止したこともあった。これは、水位観測用パイプ底面の不織布が目詰まりを起こしたため、水流により汚れを除去したことにより回復したが、土槽の底面（排水材と土壌の間）に敷設した吸出し防止用の不織布が、速やかな水位変動を妨げた可能性も考えられた。

#### 4.3 掘出した杭の観察結果

##### (1) 目視観察結果 (3, 4ヶ月後)

中型土槽から3ヵ月後および4ヵ月後に掘出した木材について目視による腐朽度評価を実施した。結果は、樹種および地盤の締固め程度、掘出し時期に関わらず、全ての部位で評価 0 (健全) となった。

##### (2) ピロディン測定結果

スギについて、初期状態の木材の飽和处理したもの、および、中型土槽から3ヵ月後に掘出した木材の飽和处理したものについてのピロディン試験結果、含水比試験結果、縦圧縮試験を図-12に示す。

ピロディン試験結果をみると、初期状態よりも3ヶ月経過後の方が貫入量が小さい。含水比のグラフと併せて見ると、3ヵ月後には含水比が小さくなっていることから、ピロディン貫入量が初期より小さくなったのは、含水比が小さいためだと考えられる。初期状態の木材および3ヵ月後の木材で含水比に差が生じたのは、木材の飽和化が、3ヵ月後の木材に対して十分でなかったことが考えられる。腐朽が進むと貫入量は大きくなることから、3ヶ月では腐朽は進行していないと言える。密地盤から掘出された木材の最上部（末口からの距離98cm付近）では同じ木材の他の部位より含水比が高いが、密地盤では地盤が固かったため、木材打設時に掛矢で何度も叩いたことにより杭頭部分が割れるなどして水を含みやすくなった可能性が考えられる。

##### (3) 縦圧縮試験結果

スギの縦圧縮試験の結果を図-12に示す。こちらも強度の低下などの腐朽を示す結果は得られなかった。

##### (4) 目視観察結果 (7ヵ月後)

大型土槽から掘出された7ヵ月後の木材を写真-4および5に示す。いずれも明確な腐朽は認められなかったが、粘性土に被覆されていた部分については粘性土を除去すると変色が見られず初期と全く同じ状況であった。ワックス状樹脂を被覆したものについても、樹脂を除去すると変色していない表面が現れた。砂で処理された木材は、部分的に黒ずんでいたが、表面はしっかりしていた。無処理についても砂と同様であった。

このように埋設後7ヶ月の時点で無処理についても腐朽が見られていない理由として、試験用土壌の透水係数が低く通気性が低かったことが考えられる。緩詰め地盤の透水係数は $k = 8 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ であったが、実際の施工においても地盤の透水係数がこの程度の低い値になるようにすることで腐朽しにくくなることが考えられる。

また、処理ごとに目視観察結果の違いが認められ、特に粘性土被覆とワックス状樹脂被覆では高い腐朽対策効果が期待できると考えられた。

**謝辞:** 本研究は(独)森林総合研究所および福井県雪対策・建設技術研究所との共同研究で実施したものである。また、研究実施に当り「温暖化対策のための木材利用研究会」の各位に御意見をいただいた。関係各位に感謝申し上げます。また、実験は、飛鳥建設(株)の知久倫子氏および(有)TNSの染谷昇氏によるものである。ここに記して感謝申し上げます。

#### 【参考文献】

- 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, 第7回環境地盤工学シンポジウム, 地盤工学会, pp.85-88, 2007.8.

- 2) 上杉章雄, 沼田淳紀 : 岩見沢市で掘り出した木杭の強度について, 第41回地盤工学研究発表会発表講演集, PP.2401-2402, 2006.7.
- 3) 沼田淳紀, 上杉章雄 : 地球温暖化対策のための木材利用の可能性について, 第14回地球環境シンポジウム, 土木学会, pp.97-102, 2006.8.
- 4) 長野行紘 : 耐朽性評価方法としてのファンガスセラール法について, 木材保存, Vol.26-2, pp.22-32, 2000.
- 5) 粘性土の動的性質に関する研究委員会 : EX (試験) 部会報告, 粘性土の動的性質に関するシンポジウム発表論文集, 地盤工学会, pp.20-46, 1995.7.

**Summary** We have been thinking of using timbers in civil engineering work as a means of controlling global warming. To that end, it is necessary to identify the conditions of decay of timbers and to examine the measures to prevent decay. Wood piles for which measures were taken to prevent decay and those untreated were buried in model ground with a variable groundwater level to examine the effects of decay control measures. To control decay, timbers were covered with wax resin, cohesive soil or sand (tightly or loosely). Cedar and Japanese larch were used for one-meter-long, eight-centimeter-diameter wood piles. The groundwater level varied by 30 cm per day. Neither treated nor untreated timbers decayed seven months after they were buried in the ground. The untreated timbers turned black. No discoloration was found on the surface of the timbers covered with wax resin and cohesive soil. These types of covering materials were thus found to be highly effective for controlling decay.

**Key Words :** *Wood pile, Measures against Decay, Global warming, Model ground, Groundwater level*