

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：92503

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580240

研究課題名(和文) 地中における地盤保水力と木材の耐久性に関する研究

研究課題名(英文) Study on wood durability and capacity of retain water under the ground

研究代表者

沼田 淳紀 (Numata, Atsunori)

飛鳥建設株式会社技術研究所・その他部局等・主席研究員

研究者番号：10443649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：地中における木材の生物劣化については未解明なことが多いことから、文献調査、既に実施してきた模型地盤を用いた腐朽促進試験に加え、土質特性と木材の生物劣化の関係を明らかにすることを目的に実施した腐朽促進実験、地盤の保水力と地下水変動が木材の生物劣化に与える影響を明らかにすることを目的とした腐朽促進実験、実施工による丸太打設後の実地盤における現地調査を実施し、地中における木材の生物劣化の可能性を評価する設計チャートを示すとともに、地中における木材の腐朽対策を開発した。

研究成果の概要(英文)：About the biodeterioration of wood under the ground, there are many unknown issues. When you use wood under the ground, it is necessary to clarify these issues. For this reason, we have already carried out literature research and an accelerated deterioration test using large-scale container. In addition to these data, to clarify a relationship between soil characteristics and biodeterioration, and to clarify an impact of the retain water capacity and ground water changes against biodeterioration, some accelerated deterioration tests were carried out. As a result, a chart for evaluating biodeterioration possibility of wood under the ground was shown, and a countermeasure against biodeterioration of wood under the ground was developed.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：保存・木質文化 地中木材腐朽 丸太 地中 腐朽 蟻害 生物劣化 対策

1. 研究開始当初の背景

現在、我が国の森林は伐採期を迎え資源が豊富な状態にある。しかしながら、1950年代までの森林資源枯渇時代に取り残された木材から他材料への転換政策などによる影響で、土木工事ではコンクリートや鉄が主要な資材となり、また、木材の輸入の自由化の影響なども加わり林業自体が衰退してしまった。これとともに地球温暖化が深刻になってきた。この間、我が国は高度経済成長を遂げたが、土木事業においては経済性や効率性が重視され過ぎ、環境的な視点がいつの間にか欠如していたようである。今後は、土木事業においても環境的な視点を取り入れ、持続可能な産業とする必要がある。これの実現のために、土木工事へ現在豊富である森林資源を積極的に活用することが考えられる。土木工事は、①かつては木材を多く使用していた実績がある、②森林と同様に我が国の至るところに存在し地産地消としやすい、③多種多様で工事量も大きく大きなポテンシャルが期待できるなど、木材利用に当たっての基本的な要因が整っている。

そこで、申請者らは木材の地中での利用を考えている。木材は、水中下では空気がなく腐朽しないので、軟弱地盤などの地下水位が浅い地盤では、その大部分が腐朽することなく機能を果たすことが可能である。事実、そのような事例も多く発見されている。

しかしながら、例えば木杭とした場合には、木杭の頭部は地下水位よりも上位となることが一般的で、このような環境では木材は腐朽する可能性があり、利用に当たってのボトルネックとなっている。申請者らは、文献調査および実際に地盤中から採取した木材の調査、さらには、大型土槽を用いた木材腐朽実験により、地下水位が浅くあっても木材が腐朽しない場合が多くあること、それは地盤特性と地盤の保水性に支配される可能性が高いことを明らかにしてきた。

そこで本研究は、今までの研究成果を踏まえ、地盤工学的な視点で、地中における木材に腐朽を発生させる地盤特性および地盤の保水性を解明し、薬剤に頼らない地盤特性を応

用した地中における木材腐朽対策技術の開発を行う。

2. 研究の目的

本研究は、地中における木材腐朽について、地盤特性と地盤の保水性に着目し以下を実施する。

- (1)種々の土質による木材腐朽促進試験：10種類程度の土質に木片を埋め込みこれをファンガスセラー試験用の土壌に設置し、土質特性と腐朽の関係を明らかにする。
- (2)円筒模型地盤による保水地盤腐朽試験：円筒形の模型地盤に木片を埋め込み、これを地下水位変動可能な水槽に設置し、保水性および地盤の飽和土と木材腐朽の関係を明らかにする。
- (3)現地木材堀出し調査：資料収集分析に加え、工事現場で見つけられる既存構造物の木杭基礎の堀出し調査により地中における木材の耐久性を実年数で明らかにする。
- (4)地中における木材腐朽対策の開発：上記を踏まえ地中における木材について、地中における木材腐朽に対する設計法を構築し、これに基づいた地盤特性を応用した木材腐朽対策方法を開発する。

3. 研究の方法

(1)種々の土質による木材腐朽促進試験

異なる透水係数を持つ地盤をシミュレートするため、表-1に示す8種の土質試料を用いて試験を行った。土質試料の粒径が、粘土を多く含む細粒なものから、礫まで広く分布するように考慮した。混合土は、ファンガスセラー試験を参考により一般土質に近づけたもので現在別の実験で用いているものである。混合土とファンガスセラー土は、両者とも腐朽菌を繁殖させた土質で有機質を多く含む。一方、その他の土質は無機質である。試料の塩分濃度は、最も高いファンガスセラー土が0.44%で、いずれもほとんど塩分を含まない。

木材の腐朽促進試験は、寸法 2cm×2cm×1cmの乾燥したスギ辺材試験片を図-1に示す供試体に埋め込み、これをファンガスセラー試験用の腐朽槽に埋設し、適宜散水しながら

表-1 各種土質の物理的性質

項目	記号	単位	藤の森粘土	函館シルト	北海道T砂	利根川砂	豊浦砂	混合土	ファンガスセラー	碎石
土粒子の密度	ρ_s	g/cm ³	2.63	2.59	2.72	2.73	2.64	2.37	2.42	2.73
最大粒径	D_{max}	mm	2	2	2	2	0.42	2	19	19
細粒分含有率	P_f	%	95	94	25	1	0	48	44	0
粘土分含有率	P_c	%	30	13	10	0	0	12	6	0
50%粒径	D_{50}	mm	0.013	0.038	0.135	0.344	0.205	0.086	0.118	3.4
均等係数	U_c		35	22	26	2.6	1.3	95	18	2.2
液性限界	w_L	%	62	40	29	NP	NP	141.3	NP	NP
塑性限界	w_P	%	27	NP	NP	NP	NP	107.95	NP	NP
塑性指数	I_P		35	NP	NP	NP	NP	33.35	NP	NP
強熱減量	L_i	%	7.6	3.9	2.4	1.3	0.6	20.9	25.3	3.4
塩分濃度	C_s	%	0.23	0.43	0.07	0.22	0.01	0.02	0.44	0.02
初期供試体乾燥密度	ρ_d	g/cm ³	1.458	1.367	1.625	1.532	1.554	1.486	0.622	0.483
初期供試体間隙比	e		0.804	0.897	0.672	0.773	0.754	0.777	2.810	4.023
供試体初期含水比	w_0	%	26.7	26.5	21.0	8.9	6.5	109.8	53.1	2.9
透水係数	k	cm/s	4.E-08	5.E-06	2.E-05	2.E-04	4.E-03	1.E-02	7.E-07	1.E-02

※北海道T砂密は、7Eで突固め。 ※ファンガスセラーは、突固めていない。

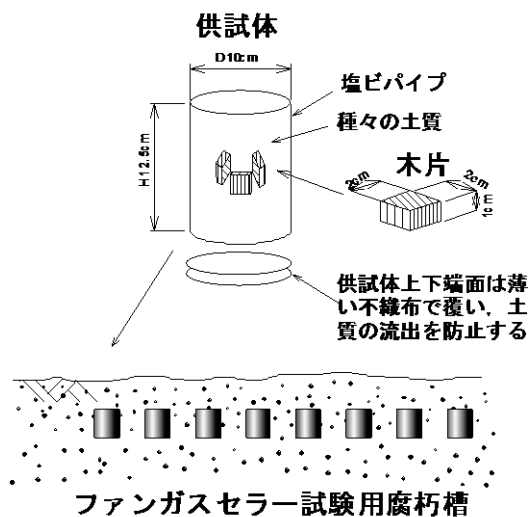


図-1 試験の概要

一定期間木材腐朽菌に暴露させた。

供試体の透水係数は、内径 10cm×高さ 12.5cm の塩ビ管に試料を入れ、突固めによる土の締固め試験方法 (JIS A 1210) に従い供試体を作製し、これについて求めた。突固めエネルギーは、 550kJ/m^3 である。ただし、北海道 T 砂を用いたケースでは、密な供試体と緩い供試体を作製するために、突固め回数を 175 回 (緩い供試体の 7 倍) とした。突固め時の試料の含水比は、概ね最適含水比である。その後、塩ビ管を付けたまま、下端面を不織布で覆った。なお、試料にファンガスセラール試験用の試料を用いたケースは、突固めを実施せず単に土質試料とスギ辺材とを投入した。また、ファンガスセラール土のケースでは、ワックスの防腐効果を確認する目的で、木片の表面に薄くワックスを含浸させたケースも実施した。同じ条件で作製した供試体について、変水位による透水試験 (JIS A 1218) を実施し透水係数を求めた。

一定期間養生後、掘り出した供試体は、塩ビ管などととも質量を計測した後、塩ビ管より試料を抜き取り、木片を取り出し、その湿潤質量と寸法を計測後、写真撮影を行った。その後、 60°C で 1 週間乾燥し、木片の暴露後の乾燥質量を計測し、暴露前後の乾燥質量から乾燥質量比 (Rd) を求めた。

(2) 円筒模型地盤による保水地盤腐朽試験

表-1 の土質について、図-2 に示すように直径 10cm 長さ 1m の塩ビ管内にスギの木片 4 個を深度方向 10cm ごとに埋設した円筒模型地盤を作製した。なお、混合土については、木片に無処理のもの、ポリマーセメントで被覆したもの、薬剤を加圧注入したものを用いた。このような円筒模型地盤を 5 本ずつ、計 50 本作製し、大型土槽に設置した。土槽は、給水および排水が 2 深度で可能であり、水位を 1 年に 2 回変動させた。

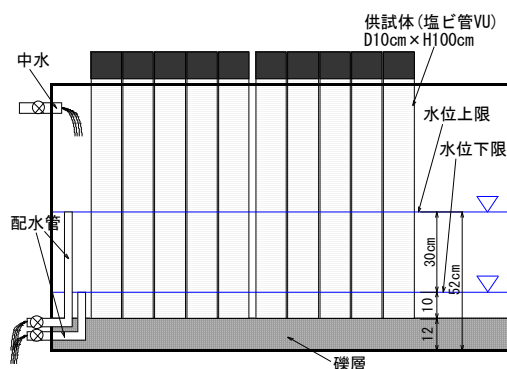
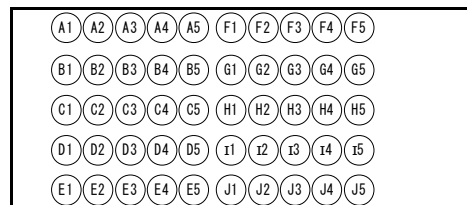
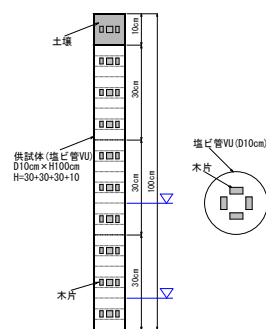


図-2 試験の概要

(3) 現地木材掘出し調査

縦 20m、幅 5m、深さ 4m の溝に人工の軟弱地盤を作製し、3m の丸太で軟弱地盤対策を実施した。丸太頭部はサンドマット下端に接し、上載荷重はサンドマットを介して丸太に伝達される。このサンドマットに 4 種類の材料を用いた。土質は、砂および礫である。5 年経過後、丸太頭部の状況を観察するために、礫材による盛土を撤去した。地下水位は、周辺地盤では GL-3m 程度であったが、地下水位計測結果では、GL0~+0.5m にあるサンドマット内を変動していた。

丸太打設から 5 年経過後の丸太の健全性は、以下の方法で検討した。丸太頭部は、頭部が露出した段階で、丸太の全数について、頭部の木口面を目視観察した。次に、引き抜き試験を実施した 9 本の丸太について、試験後そのまま丸太を引き抜き、1m 長さに切断し分割して実験室まで運搬した。これらの丸太について、JIS K 1571 による被害度の判定を行った。その後、長さ 0.3m の供試体を 1 本の丸太から 4 個切り出し、縦圧縮試験を実施した。

4. 研究成果

(1) 種々の土質による木材腐朽促進試験

今回の実験に使用した土質の透水係数 k は、 $4 \times 10^{-8} \sim 2 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ であった (表-1)。図-3

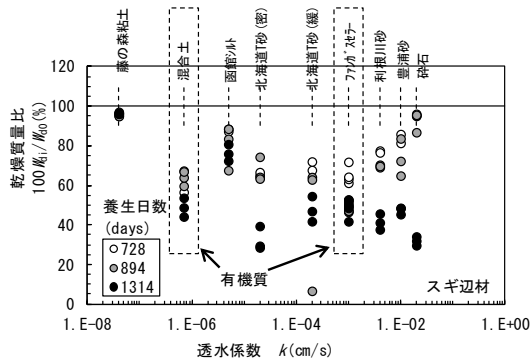


図-3 透水係数と乾燥質量比の関係

に、各土質（各ケース）の透水係数と728日、894日、1,314日経過後の乾燥質量比 R_d (%)を示す。

腐朽菌が繁殖した有機質分が多い混合土とファンガスセラー土を除くと、1,314日経過時点では、概ね透水係数が小さくなるほど乾燥質量比は100%に近づく傾向が認められ、透水係数が 1×10^{-7} cm/s以下である藤の森粘土では、1,314日が経過しても乾燥質量の低下は認められない。ちなみに透水係数 1×10^{-7} cm/sの水の流れは、落差を1m、供試体の長さが1mとすると距離10cmを通過するのに約3.2年要する。このような通水性の低い環境下では、腐朽菌は空気が遮断されるとともに、土がフィルターの役割も果たし腐朽菌の侵入を抑えたと考えられる。これに対して、透水係数が 1×10^{-5} cm/s（前述と同条件で、10cmを通過するのに約12日）と少し大きくなると、空気の供給が可能となり、乾燥質量比がやや小さくなっている。さらに、透水係数が大きくなると、乾燥質量比はさらに小さくなる。

一方、腐朽菌が繁殖した有機質分が多い混合土では、透水係数が 1×10^{-6} cm/sと小さいにもかかわらず乾燥質量比は小さく、腐朽の進行が早いことがわかる。これは、木片に腐朽菌の繁殖した土質が直接接触していると、木片内部や土の隙間に存在している空気でも腐朽菌が活動し木片を攻撃するためだと考えられる。

したがって、表土など腐朽菌を含む土質を地盤に埋戻す場合や、既に腐朽が進行しつつある木材を地下水位以浅に設置した場合、たとえ透水係数が小さくとも温度、栄養、水分が良好であれば、既に存在している腐朽菌がわずかな空気を活用して活動を続け、木材を攻撃する可能性がある。逆に、腐朽菌がほとんど存在しない無機質の地盤中で、かつ、透水係数が小さいか地表までの距離が長い場合には、腐朽菌が木材まで到達しにくくなるため、地下水位以浅であっても木材は腐朽しにくいと考えられる。

(2)円筒模型地盤による保水地盤腐朽試験

試験開始後1年経過した時点で、試料を塩ビ化により引き抜き、木片の調査を実施した

が、いずれの深度および土質についても全く健全であった。1年程度では、このような条件下では例え地下水位変動域上限以浅であっても腐朽が進行しないことが確認された。

なお、腐朽の進行が認められないため、長期間設置し観察を継続することとした。

(3)現地木材堀出し調査

丸太木口面は、打設時に物理的な損傷を受けている場合が多い箇所であり、しかも、時には地下水位よりも上に位置することがあったと予想される部分である。しかしながら、物理的な損傷は確認できたが、丸太頭部はいずれも極めて健全な状態であった。5年経過した程度ではサンドマット内では腐朽が進行しないといえる。

室内に持ち込まれた丸太の被害度は、いずれも目視では健全(0)であった。

縦圧縮試験の結果より、丸太の劣化の程度を把握するため、丸太下端付近は健全と仮定し、それぞれの深度における丸太の縦圧縮強さ丸太下端部付近の縦圧縮強さとの比を求めた。全体的に何れもほぼ1.0に近い値となった。砕石は、使用した材料の中では最も通気性が高いため、劣化も早いと考えられたが、ほぼ1.0であった。丸太頭部付近に向かい、強さがわずかに低下する傾向が認められたが、これは、丸太頭部付近では丸太打設時に大きな力が作用し、力学的に若干の損傷があったためだと考えられる。

その他、福井県の県道において、丸太打設により軟弱地盤対策を実施し、沈下計測を実施した。この結果、沈下量はほとんど発生していないことが確認された。

(4)地中における木材腐朽対策の開発

文献調査、室内腐朽促進試験、現地木材の堀出し調査より、地中における木材の腐朽に対し以下の知見を得た。

- ・地中の地下水位変動域上限以浅では、木材が腐朽する場合がある。
- ・地下水変動域では、腐朽の進行は地下水位変動域上限以浅に比較し極めて遅い。
- ・地下水位変動域下限以深では、木材は極めて健全である。
- ・地下水位変動域下限以深で健全なものの中には、スギも存在し、健全性は樹種に依存しない。
- ・地下水位変動域上限以浅においても、地山部や粘性土部では木材は健全性を保つ。
- ・地下水位変動域上限以浅であっても、地盤の透水係数が $k \leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s であるような地盤では、腐朽は進行しない。
- ・地中の地下水位変動域以浅においては、埋戻し地盤や亀裂があると想定された地盤では腐朽が認められた。
- ・構造物の底盤直下で先端支持杭の場合、地盤のみが沈下し構造物底盤と杭間地盤との間に隙間が生じている事例があり、このよ

うな場合隙間が空洞となり木材が腐朽しやすい環境が整う可能性が考えられた。

なお、木材にとって虫害も大きな課題である。陸域においては蟻害、海域においてはフナクイムシやキクイムシなどが課題となる。蟻害については腐朽と同様に地下水位以下では空気がなく蟻は生存できない。また、フナクイムシやキクイムシは、海中で生活するが土中では生存できない。したがって、地中における木材は、腐朽しなければ虫害も生じないといえる。

以上を踏まえ、地中における木材の生物劣化を評価する図を図-4 に示すように作成した。図中、黄色やグレーで網掛けした部分は、腐朽の可能性があるため、何らかの対策が必要である。逆に、黄色やグレーの部分に入らなければ腐朽する可能性は極めて低いので、保存処理などせずに生材のまま地中に打設することができる。

この評価図に基づき地中における丸太の生物劣化対策について以下の2種類を開発した。

①被覆土

実験結果によれば、透水性の低い材料で1cm被覆した木材が、促進試験により3年以上経過後も健全性を保っていた経験に基づき、また、余裕度を持たせ、被覆土の層厚が5cm以上となる量を木口面に投入後、550kJ/m³のエネルギーで突き固め、被覆土層を作成する。

写真-1に、施工した被覆土の断面状況を示す。礫質の充填材と丸太頭部の木口面との間に被覆土が十分に設置されていることがわかる。

②被覆材

丸太表面に通気性の悪い材料を塗布する。下塗り材としてセメント反応型ポリマー樹脂とアルミナセメントの混合剤を塗布した後に、上塗り材として変性シリコン樹脂を塗布した。この材料の透水係数は、前述の透水試験装置を用いても透水係数が小さ過ぎて計測が不能であった。このように塗布した木材について実施した木材保存剤一性能基準及びその試験(JIS K 1571)の結果は、防腐性能については、質量減少が全く認められなかった。防蟻性については、質量減少量が平均値で、1度塗りで2%、2度塗りで1%と低い値であることが確認できた。

写真-2に、重機で丸太を圧入した後の塗布材の状況を示す。重機の圧入部と丸太との接触面は鉄製であるが、塗布材の亀裂や破損は認められず、本塗布材が、本施工に用いられる圧入程度では損傷しないことがわかる。ただし、圧入力を高め過ぎたり、回転力などを与えた場合は、丸太自身に亀裂が生じる可能性があること、また、鋭利なもので塗布部を打撃した場合には損傷すると考えられるので注意が必要である。実施工では、重機圧入部と丸太との接触面は、ゴム板や木製の板などを挟むことを考えている。

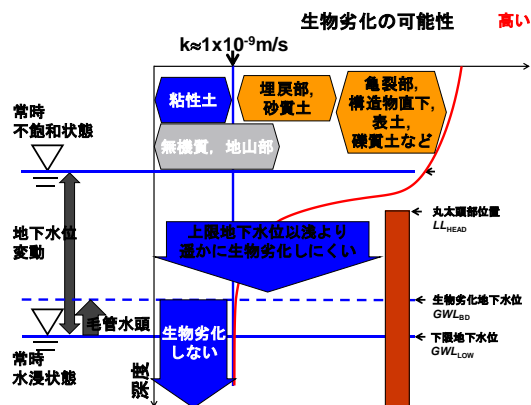


図-4 地中における木材の腐朽の可能性評価図



写真-1 施工した被覆土の断面状況



写真-2 重機で圧入後の被覆材の状況

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 7 件)

- ① 沼田淳紀, 久保光: 地中における丸太の腐朽対策方法, 査読なし, 木材利用研究論文報告集 13, 土木学会木材工学委員会, 2014.7.24
- ② 久保光, 沼田淳紀, 吉田雅穂: 丸太打設5年経過後の丸太の健全性と土質, 査読なし, 第49回地盤工学研究発表会発表講演集, 2014.7.16
- ③ 久保光, 吉田雅穂, 沼田淳紀, 平山竜朗: 丸太を用いた軟弱粘性土の地盤補強技術に

関する現場実験，査読なし，第 48 回地盤工
学研究発表会発表講演集，pp.1163-1164，
2013.7.25

④沼田淳紀，桃原郁夫，久保光：土の透水係
数と木材の腐朽，査読なし，第 63 回日本木
材学会大会研究発表要旨集，N27-02-0945，
2013.3.27

⑤沼田淳紀，桃原郁夫，久保光：地中におけ
る地盤条件と 3 年経過までの丸太の耐久性，
査読なし，土木学会第 67 回年次学術講演会
講演概要集，CS12-007，pp.13-14，2012.9.7

⑥沼田淳紀，桃原郁夫，久保光：土質特性と
木材の腐朽に関する実験，査読なし，木材
利用研究論文報告集 11，土木学会木材工学
特別委員会，pp.75-80，2012.8.31

⑦A. Numata, H. Motoyama, I. Momohara, H.
Kubo : EXPERIMENT ON LOG
DURABILITY IN THE GROUND USING
LARGE-SCALE CONTAINER, 査読有り，
Word Conference on Timber Engineering 2012,
Strength and Serviceability - Extreme Events,
pp.496-503, 2012.7.18

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沼田淳紀 (NUMATA Atsunori)

飛鳥建設株式会社 技術研究所 主席研究員

研究者番号：10443649

(2) 研究分担者（ただし，平成 23 年度および
平成 24 年度）

久保 光 (KUBO Hikaru)

福井県 雪対策・建設技術研究所 研究員

研究者番号：80470160

(3) 連携研究者