

汽水域における木材の劣化要因に関する考察

三村 佳織^{*1}, 原 忠^{*2}, 加藤 英雄^{*3},
本田 賢児^{*4}, 中内 卓也^{*5}

Study on the degradation factor of wood in brackish waters

Kaori MIMURA^{*1}, Tadashi HARA^{*2}, Hideo KATO^{*3},
Kenji HONDA^{*4}, Takuya NAKAUCHI^{*5}

In recent years, toward the solution of worsening environmental problems, sustainable town development is also sought in the civil engineering field. Under such circumstances, the soft ground measures that used a lot of logs are expected from both sides of the disaster prevention and global warming mitigation. In order to expand the use of soil stabilization, we need to verify the unclear long-term stability of wood installed inside the ground, however there are not many studies about it. In this study, we examine the soundness in terms of state of rotting of tree groynes installed underground for periods as long as 20 years. We examine both visually as well as using the Pilodyn test, focus to the differences in the installation environment. Our results show that for the ground region of high water permeability where there is tide level fluctuation, it is clear that the installed wood in underground is suffered rot and insect damage. On the other hand, it is also seen that under similar conditions, the installed wood in underground is not suffered rot or insect damage in sections of permanently saturated soil capillary action, and also the soundness of the structures can be maintained over long periods of time.

Keywords ; sea level variation, tree groyne, soundness

近年、深刻化する環境問題解決に向けて、土木分野においても環境負荷の少ない持続可能

* 1 兼松サステック株式会社 Kanematsu Sustech Corporation

* 2 高知大学 Kochi University

* 3 森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute

* 4 高知県土木部 Kochi Prefect. Gov., Public Works Department

* 5 高知県高知土木事務所 Kochi Civil Engineering Office, Kochi Prefecture

Corresponding author : T. Hara (haratd@kochi-u.ac.jp)

な社会づくりが求められている。そのような中で、木材を多く使用する軟弱地盤対策としての活用が、防災と地球温暖化緩和策の両面から期待されている。更なる利用拡大には地中に設置された木材の長期耐久性検証が必要であるが、木材の長期耐久性に関する研究例は多くない。本研究では、約20年前に地中に設置された杭出し水制工の腐朽に対する健全性を、設置環境の違いに着目して目視判定やピロディン試験結果から調べた。その結果、潮位変動域で透水性の高い地盤の、地中に設置された木材は腐朽や虫害の影響を受けることが明らかとなった。一方、同条件下であっても土質の毛管現象によって地盤が常時飽和する区間では、腐朽や虫害の影響を受けず、長期間健全性を維持できることが確認された。

キーワード：潮位変動，杭出し水制工，健全性

1. 緒言

日本では丸ビルの例に見られるように、古来より建築構造物の基礎として木材を使用してきた。また、橋梁基礎、港湾、鉄道施設などの土木構造物においても使用事例が多数見られ¹⁾、年代や地域を問わず広く木材が使用されてきたことがわかる。しかし、戦後の高度経済成長期以降、コンクリートや鋼材などの資材の多様化が進んだ一方、木材には形状にばらつきが見られ、長期耐久性や支持力機構が不明瞭なことなどから使用が敬遠され始めた。加えて、1955年に「木材資源利用合理化方策」が閣議決定され、重要産業および民生安定に伴い資材を確保する目的で、木材の使用が抑制された。更に1970年代以降では、道路橋示方書や建築基礎構造設計指針の設計施工マニュアルからも木材に関する記述が削除された²⁾。近年では世界的に環境問題が深刻化し、土木分野においても環境負荷の少ない持続可能な社会づくりが求められている。そのような中で、地球温暖化防止に果たす森林の役割は益々大きくなっている³⁾。木材はコンクリートや鋼材などの資材とは異なり、光合成によって炭素を貯蔵する唯一の土木資材である。世界有数の森林面積を有する我が国が木材を積極的に利活用することは、大気中の二酸化炭素を長期にわたり貯蔵することにつながり、地球温暖化の要因となっている二酸化炭素の排出削減に貢献する。中でも木材を多く使用できる軟弱地盤対策としての利用促進は、地球環境を保全しながら防災対策を進める現実策として期待されている⁴⁾。

筆者らは、軟弱地盤対策への木材利用を目指し、

低振動・低騒音で戸建住宅にも適応が可能な丸太打設液状化対策工法(LP-LiC工法)を提案している。本工法は沿岸平野部や埋立地、旧河道部などに堆積する緩い砂地盤を対象に、丸太打設による地盤の締固めと炭素貯蔵を同時に行うものである。現在までに実大施工試験や室内要素試験、大型振動台実験などにより地盤改良効果を定量的に評価してきた⁵⁻¹²⁾。今後、工法の普及を進めるにあたり、木材固有の課題である、形状や品質にばらつきが大きいこと、長大材を得にくく供給が不安定な場合があること、腐朽や虫害の問題などの解決が求められる¹³⁾。特に軟弱地盤対策として木材を使用する際には、地下水位変動の影響を受けやすいため、腐朽や虫害の発生要因や地盤内での木材の健全性に関する分析が必要である。建築構造物の基礎として利用された木材の健全性については新潟駅¹⁴⁾や宮崎県庁舎¹⁵⁾などの事例が報告されており、このような過去の事例をもとに地中使用木材の長期耐久性について調査された結果から^{16, 17)}、地下水位で深に打設された木材は腐朽や虫害の影響をほとんど受けず、木材の健全性が保持されることは明らかである。しかし、水位変動域での腐朽の状態を調べた実験は人工的に水位を変動させた模型実験などの事例は見られるが¹⁸⁾、実大の木材を対象として調べられた研究例は少なく、水位変動と腐朽・虫害との関係については未解明な部分が多い。

本研究では、約20年間潮位変動の影響を受けて水中、気中、土中の3つの環境条件下に設置されていた杭出し水制工を対象に、木材の健全度を定量的に評価し、地中利用する際に腐朽や虫害を受けない条件を提案する。

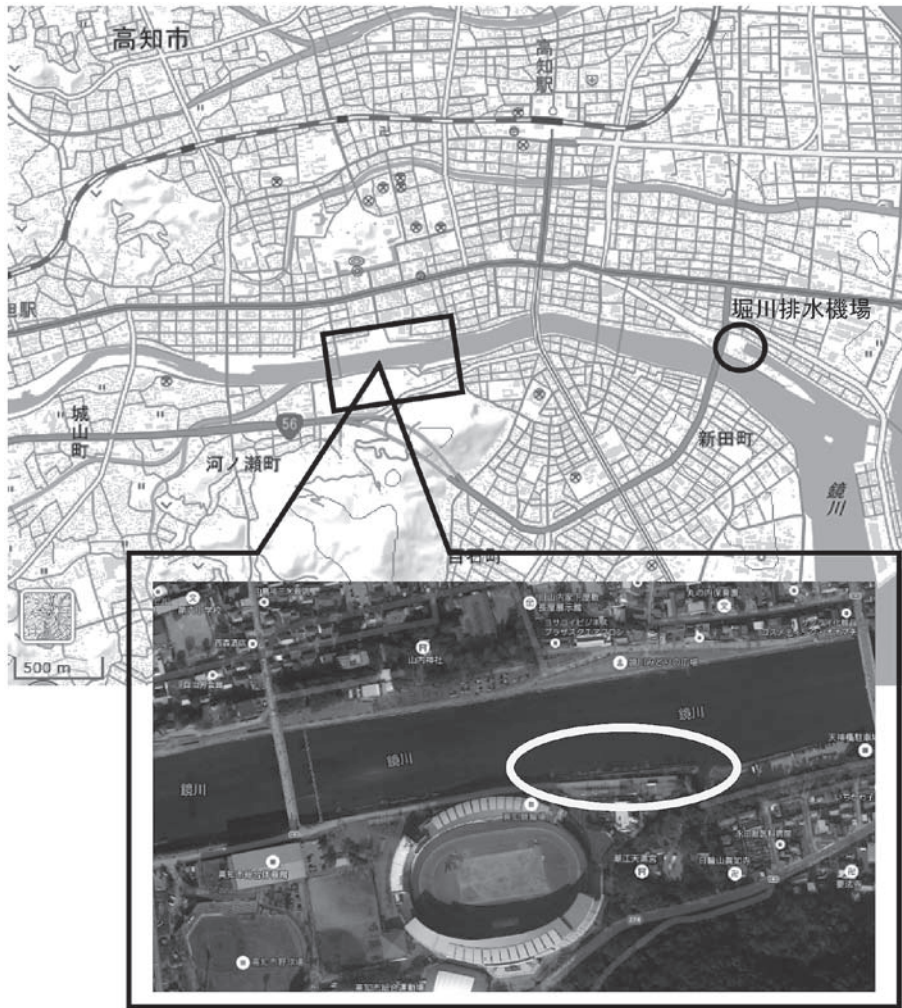


図1 回収地点位置 (引用：国土地理院電子地形図, 空中写真2010年撮影)
 Fig. 1 Recovery point position (Reference : GSI Maps, An aerial photograph 2010 shooting)

2. 試験方法

2.1 試験体の回収地点

回収地点のある鏡川は高知県高知市土佐山から山間部を抜け高知平野へと流れ、その後、高知市街地を東西に横切る二級河川である。源流域から河口までの長さが30.5kmで、その流域は放射状に広がり、流域面積は170km²に及ぶ。上流部は急流で中流部は大きく蛇行しているが、回収地点は浦戸湾に近い下流部に位置し、潮の干満の影響を受ける感潮域となっている¹⁹⁾。図1に回収地点の位置、図2に回収地点の全景を示す。1975年、1976年に発生した台風による大雨の影響で河川の氾濫や越流が生じたため、コンクリート護岸による河川改修工事が進められたが、1997年に当該地区の水際部の水質改善と植物・魚類・底生動物な

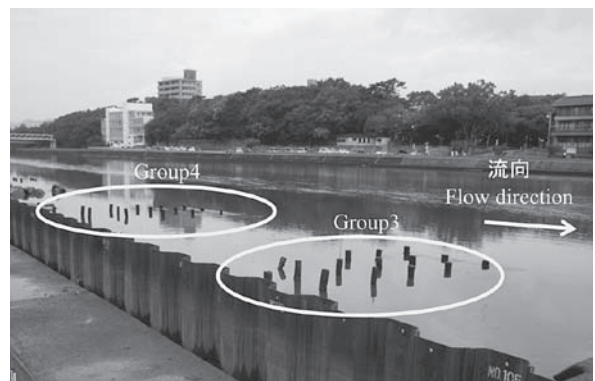


図2 回収地点全景
 Fig. 2 Recovery point panorama

どの生態環境の創出および環境に配慮した「多自然型川づくり」²⁰⁾を目的に下流部に杭出し水制工(以下、水制工と称する)が設置された。また、水制工には杭としての施工実績が多いアカマツ

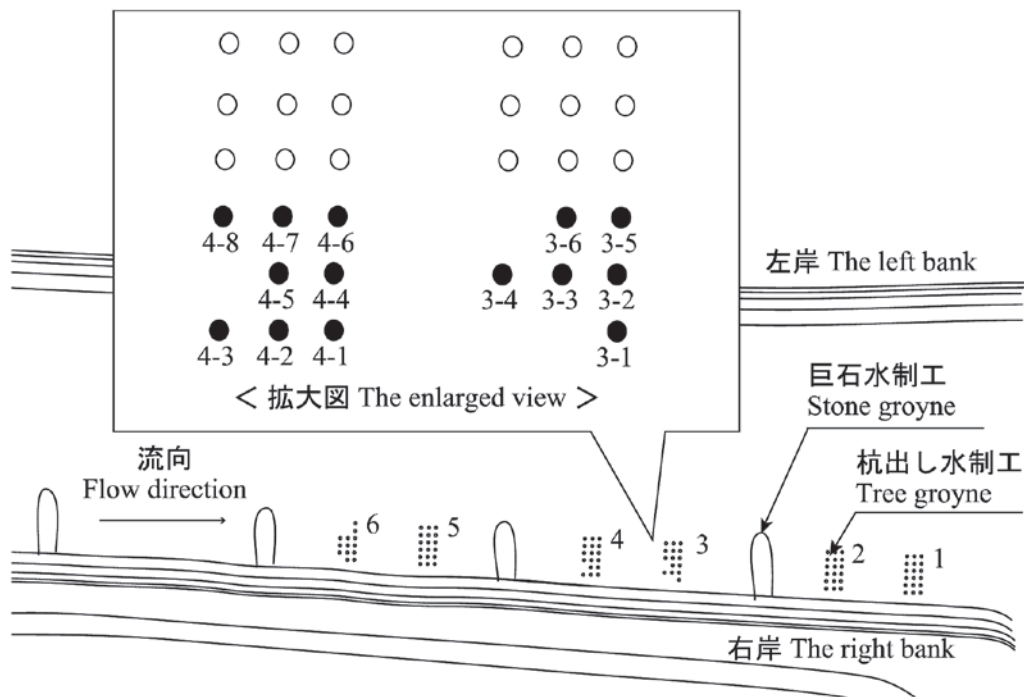


図3 対象とした杭出し水制工の配置図
Fig. 3 Layout of the target tree groyne

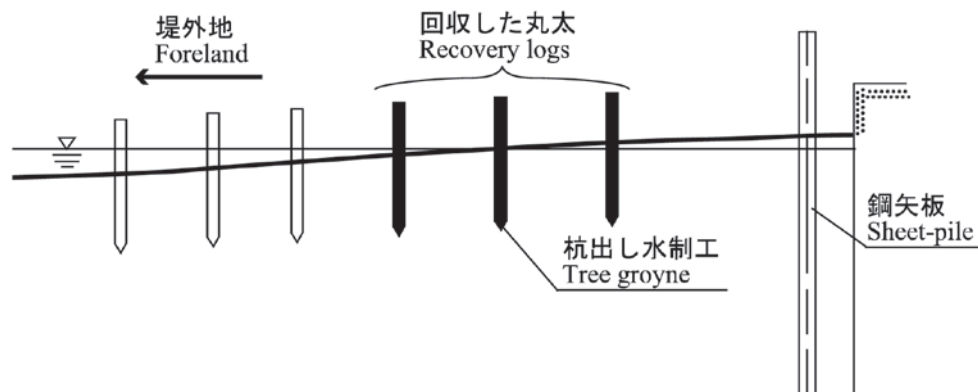


図4 干潮時の調査地点断面図
Fig. 4 Cross section of the recovery point at low water

(*Pinus densiflora*) が使用されていたとのことであつた²¹⁾。

2.2 試験体の回収方法

回収地点には水制工が6グループ設置されていた。本研究では、その中から図3に示す水制工No.3およびNo.4（以下、グループ3および4と称する：計32本）の丸太を対象とした。図4は干潮時の潮位と水制工の設置状況を示した断面図であるが、干潮時に回収が可能であつた図3で示した黒丸の14本を回収した。回収年月日は2015年8月29日で、丸太は小型のバックホーを用いて周囲の土を掘削した後、表面に傷がつかないように



図5 杭出し水制工の引抜き状況
Fig. 5 The actual situation of pulling out the tree groyne

表1 回収した丸太の寸法計測結果
Table 1 Dimension measurement results of the recovery logs

計測項目 Measurement items	No.														平均 Mean
	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8	
頭部直径 (m) Head diameter (m)	0.19	0.19	0.18	0.18	0.15	0.16	0.16	0.15	0.21	0.16	0.19	0.17	0.15	0.16	0.17
中間直径 (m) Middle diameter (m)	0.18	0.19	0.18	0.18	0.15	0.17	0.17	0.19	0.21	0.16	0.19	0.16	0.15	0.16	0.17
先端部直径 (m) Tip diameter (m)	0.18	0.19	0.18	0.17	0.14	0.15	0.15	0.19	0.19	0.16	0.18	0.15	0.17	0.15	0.17
丸太長さ (m) Log length (m)	2.45	2.62	2.62	1.82	2.69	2.56	2.95	2.09	2.83	3.10	2.91	2.88	2.68	2.98	2.66

本ずつクレーンで慎重に回収した。図5に丸太の回収状況を、表1に回収した丸太の寸法計測結果を示す。現地にて回収後直ちに形状を計測した結果、頭部直径は0.15~0.21m、長さは1.82~3.10mであった。なお、グループ3と4で丸太の形状に違いは見られなかった。

2.3 健全度評価

回収した丸太の健全度を評価するため、目視判定とピロディン試験を行った。さらに、回収地点での潮位変動と粒度試験、詳細なピロディン試験結果から設置環境条件の違いによる木材の劣化状況を比較検討した。

2.3.1 目視判定

目視判定は、日本工業規格の木材保存剤-性能基準及びその試験方法 (JIS K 1571 : 2010) の野外試験で定められている被害度判定に基づき判断した。判定は各深度において、回収した全ての丸太14本を対象に現地にて行った。判定箇所は頭部から0.0~0.5m, 0.5~1.0m, 1.0~1.5m, 1.5m~の

4箇所とした。今回は9人の判定者の結果を統合し判定結果として整理した。

2.3.2 ピロディン試験

ピロディン試験は、スイス Proceq 社製の PILO-DYN, 6J-Forest (ピン直径2.5mm, 測定範囲0~40mm) を用い、試験器から一定のエネルギーで打ち込まれたピンの打ち込み深さを読み取った。図6にピロディン試験実施状況を示す。試験は回収した全ての丸太を対象に現地にて行った。試験箇所は目視判定同様の頭部から0.5, 1.0, 1.5, 2.0m の4箇所とした。

3. 結果と考察

3.1 目視判定

図7に回収した丸太の全景を、図8に目視判定結果を示す。この判定法では被害度の平均値が2.5になる時を耐用年数と定めているが²²⁾、頭部から0.0~0.5m, 1.0~1.5m および1.5m 以深は被害度の平均値が2.5以下となるため健全と判定した。



図6 ピロディン試験実施状況
Fig. 6 Pilodyn test implementation status

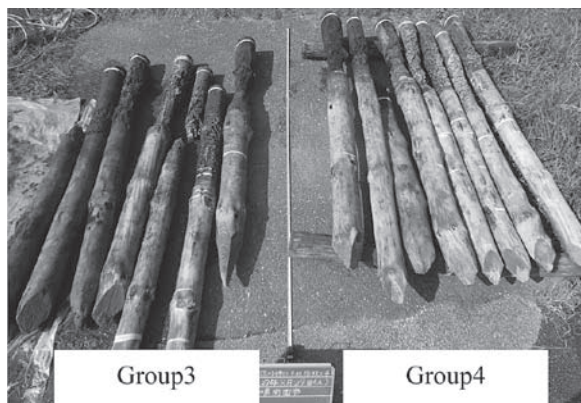


図7 回収した丸太の全景
Fig. 7 Panorama of the recovery logs

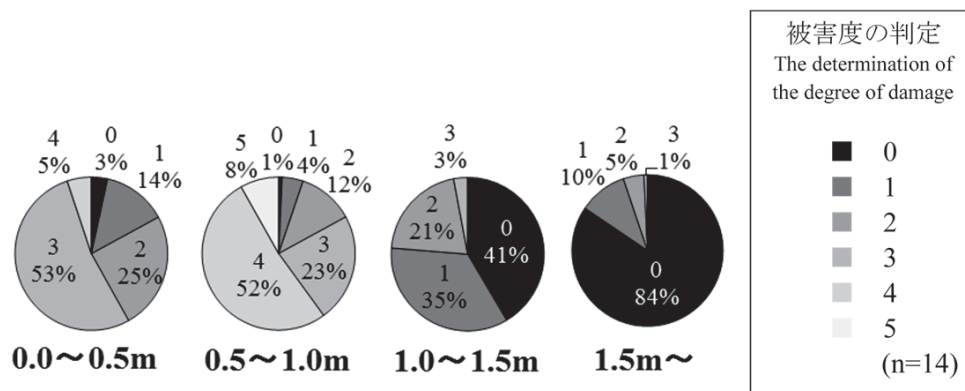


図8 目視判定結果
Fig. 8 Visual judgment result

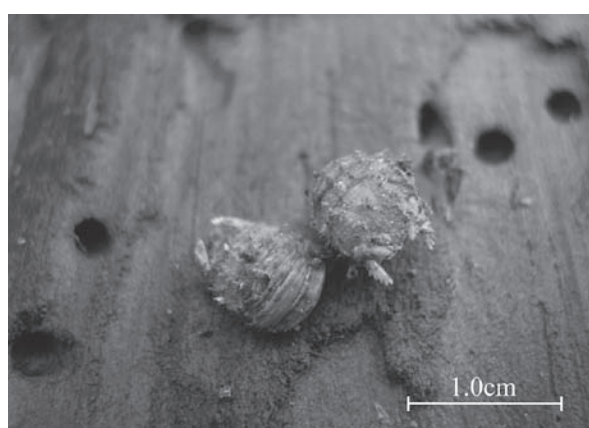


図9 穴奥で発見されたコツブムシの抜殻
Fig. 9 Empty shells of Kotsubumushi that been discovered in the deep hole

一方、頭部から0.5~1.0mでは部分的に激しい腐朽や虫害が見られたため、被害度は3以上の評価が全体の約80%を占めており、平均値が2.5以上となることから不健全と判定した。また、他の深度と比較しても丸太表面に無数の穴が開いている様子が確認され、穴の奥には図9に示すコツブムシ亜科半鰓類 (*Sphaerominae Hemibranchiatae*) の抜殻が見つかった。この種は本回収地点のような汽水域に生息し、木材の表面に巣穴を開けること

が知られている^{23, 24)}。このことから回収地点は腐朽と虫害の両方の影響がある場所と考えられ、中でも0.5~1.0mでは虫害による被害が深刻であった。

3.2 ピロディン試験

表2と図10に試験結果を示す。表2にはそれぞれの深度における平均値と標準偏差も併記した。また、図10中の実線がグループ3を、点線がグループ4の結果を示し、太線は全体から任意に選定した1本の頭部から0.0~1.0mについて、心材部にあたる直径約10cmにロータリー加工した円柱に対しても10cm間隔でピロディン試験を行った結果を示す。なお、ピロディン打ち込み深さは30mm以下が健全な状態と仮定した^{25, 26)}。

前述の目視判定結果と同様に頭部から1.5と2.0mのピロディン打ち込み深さは、最大で24mmと30mmを大幅に下回っており、健全性が確認された。一方、頭部から0.5mと1.0mは目視判定では不健全とされる3以上の評価が約80%を占めていたにも関わらず、ピロディン打ち込み深さは3-3の32mmを除いては全て30mm以下であった。ここで、図11に3-3の頭部から0.1mごとに切断し

表2 ピロディン試験結果の一覧
Table 2 A list of pilodyn test results

頭部からの距離 (m) Distance from the head of the log (m)	ピロディン打ち込み深さ (mm) Pilodyn penetration (mm)														平均 Mean	標準偏差 SD
	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8		
0.5	17	20	32	-	20	25	16	-	25	17	18	22	20	20	21	4.51
1.0	17	24	23	23	18	30	18	25	24	21	18	16	28	22	22	4.20
1.5	16	22	20	21	19	18	18	24	22	24	18	22	21	20	20	2.37
2.0	14	22	19	21	18	18	18	24	21	22	18	21	21	19	20	2.49

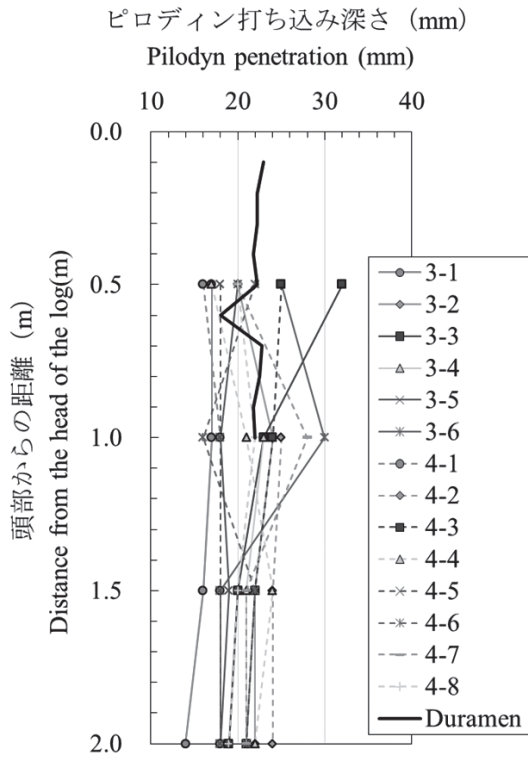


図10 ピロディン試験結果
Fig. 10 Pilodyn test results

た断面写真を示す。同図より0.5~0.9mの範囲で丸太直径が小さくなっていることがわかる。これは地際部がこの範囲内に存在しており、虫害によって無数の穴が開けられた木材の表面を流水と表層土が洗い流したためと考えられる。太線で示すロータリー加工を行った心材部のピロディン打ち込み深さは平均値(±標準偏差)が22.0(±1.49)mmとばらつきも小さく、非常に健全な状態であることが確認された。心材部を含む健全な部分の割合が高い箇所ではピロディン試験を実施したことから、打ち込み深さは30mm以下の低い値になった可能性が考えられる。丸太の劣化には設置環境条件の違いも関わっていると推察されることから、以下では潮位変動域における木材の健全度を評価するため、回収地点の潮位観測結果と粒度試験結果を元に詳細なピロディン試験を行った。

3.3 潮位変動と木材の劣化要因との関係

本研究で用いる潮位は回収地点から約2.0km下流にある堀川排水機場の2014年11月1日~2015年8月28日までの観測結果を参考にした。場所は図1に併記している。図12に潮位変動と年間平均潮位を示す。測定結果から標高(T.P)表示で満潮位は1.43m、干潮位は-0.92m、年間平均潮位は

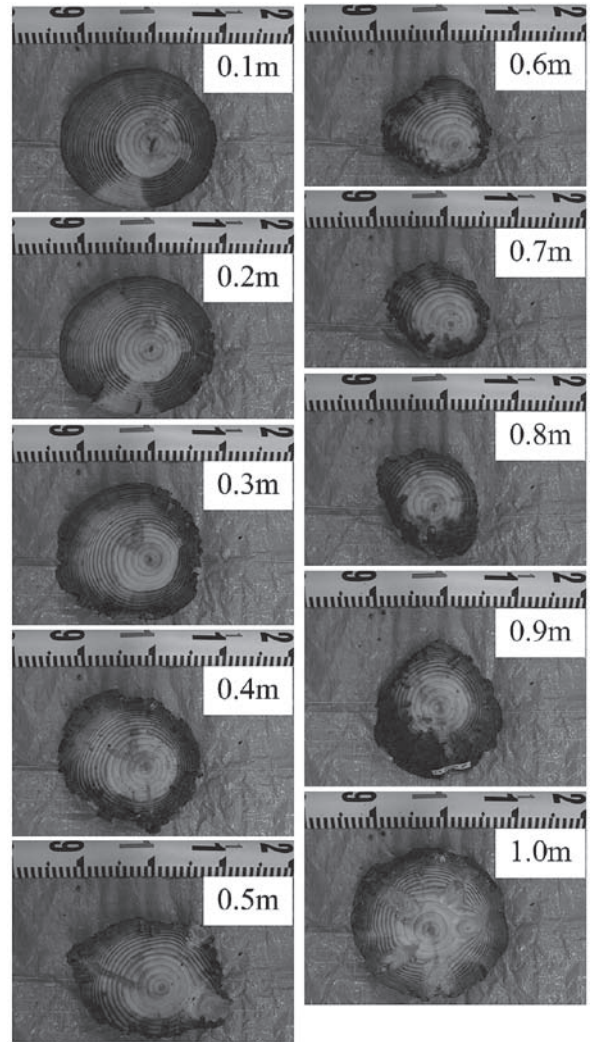


図11 頭部から0.1mごとの断面写真(3-3)
Fig. 11 Photograph of the cross section of each 0.1m from the head of the log (3-3)

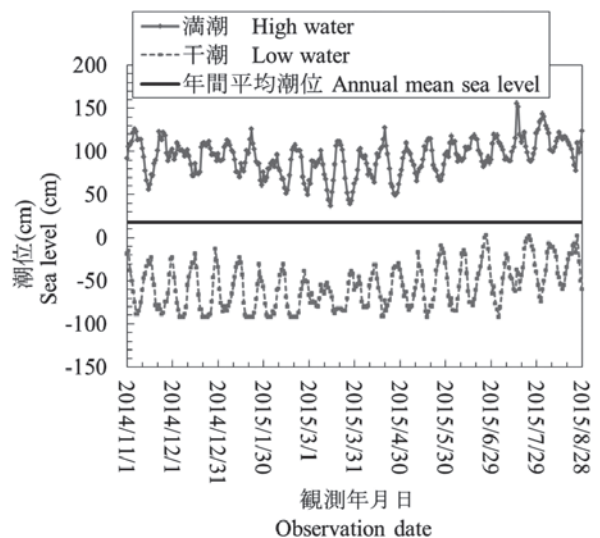


図12 回収地点近傍の潮位変動(堀川排水機場)
Fig. 12 Sea level variation near the recovery point (Horikawa drainage pumping station)

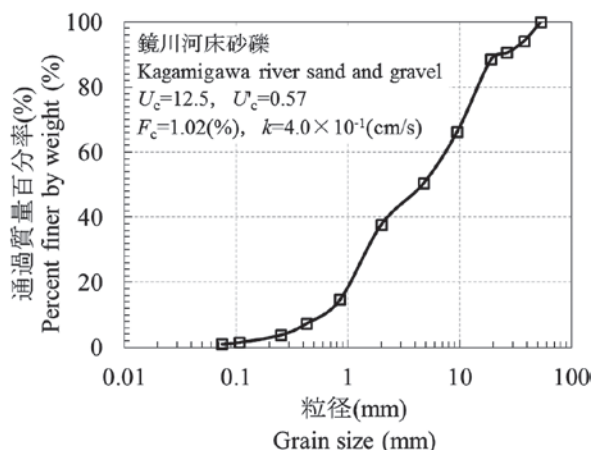


図13 回収地点の粒径加積曲線
Fig. 13 Grain size distribution curve of the recovery point

0.18m となった。また、図13に本回収地点の粒径加積曲線を示す。粒度試験を行った土は丸太を回収した場所の近くで採取した。本回収地点の土質は砂礫で、均等係数 U_c は12.5、曲率係数 U'_c は0.57、細粒分含有率 F_c は1.02%であり、Creagerの表で透水係数 k を求めた結果、 $k = 4.0 \times 10^{-1}$ (cm/s) であり、地盤工学会基準 (JGS 0311) で示された礫質土に相当する高い透水性を示すことが分かった。透水性が高いほど地盤は間隙水を保持することが困難となることから、地表面より潮位が下がった場合にはそれに準じて土中でも水位

が変動していたと考えられる。

回収した丸太の中から任意に3本を選定し、詳細なピロディン試験を行った。試験の際には前日に丸太を浸水させ、回収時の含水率と同程度になるよう調整した。試験箇所は頭部から0.1m 間隔で1.5m までの15箇所である。場所によるばらつきを考慮するため、それぞれの箇所の円周上において90°ごとに計4回試験を行った。表3にピロディン試験結果を示す。表中には試験の平均値を併記した。また、図14に潮位変動とピロディン打ち込み深さとの関係を示す。図中の実線が年間平均潮位と干潮位を、一点鎖線が水制工設置当時の地表面を、点線が丸太回収時の地表面を示す。本回収地点の木材が置かれていた環境条件を整理すると①頭部を基準として0.0~0.7m の水中・気中、②0.7~1.3m の水中・気中・土中、③1.3m 以深の水中・土中の3つに分けられる。まず、③は常時水中下に存在していたため、ピロディン打ち込み深さは平均値で16~22mm となり、健全であることが確認された。次に、①は丸太が曝露した範囲であり、コツブムシなどの虫が生息できることから全面的に激しい虫害が発生していた。一部頭部から0.6m ではピロディン打ち込み深さが30mm 以上を示しているが、それ以外は概ね0.4m をピークとして値が増減する傾向が見られる。これは、

表3 詳細なピロディン試験結果の一覧
Table 3 A list of detailed pilodyn test results

頭部からの距離 (m) Distance from the head of the log (m)	ピロディン打ち込み深さ (mm) Pilodyn penetration (mm)									平均 Mean	標準偏差 SD
	3-3			3-5			3-6				
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean		
0.1	18	28	24	16	22	20	14	19	17	20	4.27
0.2	14	25	20	18	30	22	14	18	16	19	4.93
0.3	22	37	30	18	30	25	15	23	18	24	7.46
0.4	23	35	29	20	26	23	14	33	24	25	5.88
0.5	20	32	27	19	25	23	15	27	22	24	5.02
0.6	25	31	28	23	32	28	24	30	27	28	3.11
0.7	25	36	32	16	26	20	14	25	21	24	7.02
0.8	23	31	29	20	30	24	17	31	25	26	5.04
0.9	25	36	29	22	34	28	18	32	26	27	5.03
1.0	18	24	21	15	24	20	18	28	23	22	3.73
1.1	19	25	22	16	28	21	15	20	18	20	3.60
1.2	18	27	22	17	24	20	18	24	20	21	3.23
1.3	19	27	22	17	23	20	13	18	16	19	3.77
1.4	18	24	20	17	23	19	15	19	17	19	2.63
1.5	18	24	20	19	24	22	16	19	17	20	2.75

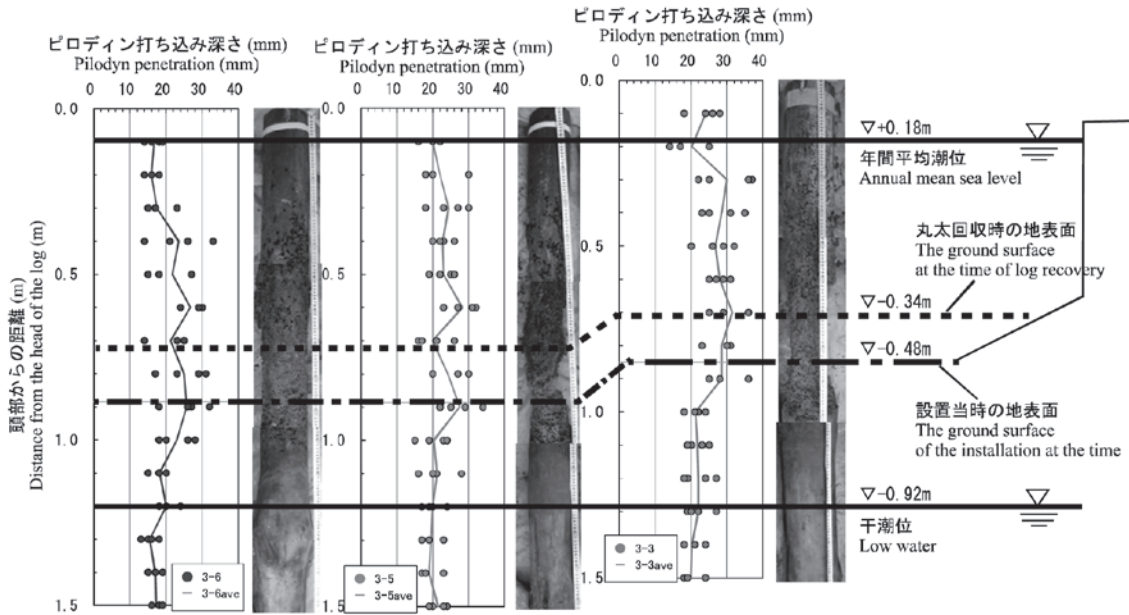


図14 潮位変動とピロディン打ち込み深さとの関係
 Fig. 14 The relationship between sea level variation and pilodyn penetration

前述のように頭部から0.5~0.7mでは丸太直径が小さくなっている影響が表れたと推察される。最後に、②は頭部から0.7~0.9mではピロディン打ち込み深さは平均値で20~32mmとなっているが、1.0m以深では平均値で16~23mmと非常に小さく健全であった。本回収地点の地盤の透水性が高いことから地中においても表層付近では虫害の影響を受けている箇所が見られた一方、潮位変動域の水中・気中・土中という異なる環境条件下においても常時水中下とほぼ同等の健全性を保持している箇所が見られた。

アカマツの素材耐久性に関して、心材率は丸太直径18.2cmのとき11.6%²⁷⁾、心材の耐久性区分は小²⁸⁾、耐蟻性は小²⁹⁾、フナクイムシ抵抗性は小³⁰⁾であることから、アカマツの素材耐久性は低いと考えられる。しかし、今回常時水中下だけでなく、潮位が変動する環境条件においても一部健全な状態を保持していたことから、アカマツの素材耐久性よりも設置環境の違いの方が生物劣化の違いに影響を与えた可能性があるかと推察される。以下では、さらに詳細なピロディン試験を行った3本について設置環境条件との関係を整理するため、ピロディン試験結果を正規化し、汽水域における潮位変動との関係をまとめた図を図15に示す。図中には設置当時の地表面と干潮位も併記した。なお、頭部から干潮位までの距離が3-3では1.3m、3-5

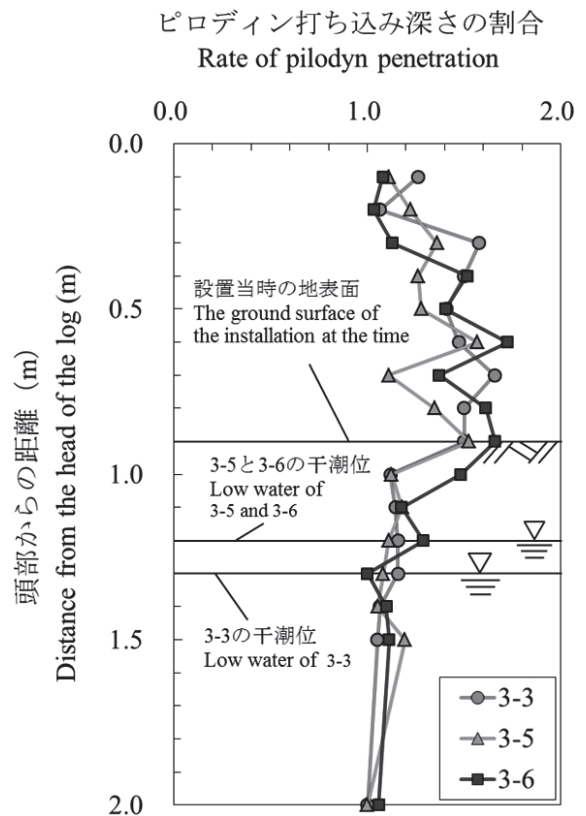


図15 潮位変動と正規化したピロディン打ち込み深さとの関係
 Fig. 15 The relationship between sea level variation and normalized pilodyn penetration

と3-6では1.2mと異なることから、図中では両方の干潮位を併記している。3本のピロディン試験結果はばらつきが見られるが同様の傾向を示して

表4 種々の土質の限界毛管水頭²⁵⁾
Table 4 Critical capillary head corresponding to each of soil types

土質の種類 Soil types	限界毛管水頭 Ψ_{cr} (m) Critical capillary head (m)
標準砂 Standard sand	0.20~0.30
ローム Loam	0.25~0.30
砂岩 Sandstone	0.60~0.70
まさ土 Decomposed granite soil	0.80~1.00
泥岩 Stone	2.00~2.50

おり、特に表3の標準偏差にも見られるように設置当時の地表面である頭部から0.9m以深より徐々にばらつきが小さくなっていることがわかる。ここで、毛管現象は地下水が表面張力の作用により土粒子の隙間を縫って上昇する現象のことであり、土粒子の間隙が地下水で満たされた飽和時の毛管水頭を限界毛管水頭という。本回収地点の土質は砂礫であることから、表4に示す種々の土質の限界毛管水頭より³¹⁾、標準砂よりも粒径の粗い砂礫は干潮位である頭部から約1.3mより上位0.2m程度は高含水率状態にあったと推察される。そのため、潮位変動域であっても空気が供給されないので頭部から1.1~1.3mの範囲は腐朽や虫害の影響を受けなかったと考えられる。

4. まとめ

今回、木材を回収した地点は一日の潮位変動が約2.0mの地点であり、また、腐朽と虫害の両方の被害が発生する環境条件であった。そのような条件下においても既往の研究結果と同様に、常時水中下では約20年が経過しても健全性が確認された。一方、潮位変動域では本回収地点のように透水性の高い地盤である場合、地中においても腐朽や虫害の影響を受ける可能性があるが、この範囲内であっても土質の毛管現象によって地盤が高含水率状態を保持できる場合には常時水中下と同等の条件となり、腐朽や虫害の影響を受けず健全であることがわかった。本研究結果に基づけば、木材を地中利用する際には地際部よりも地下水位と土質の毛管現象の深度によって、打設深度を検討

するのが妥当であると考えられる。

謝辞

本調査を行うにあたり、高知県高知土木事務所の関係各位、大旺新洋株式会社の下村昭司氏他関係各位、高知大学地盤防災学研究室の小林かなほ氏、林聖淳氏のご協力を得ました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

引用文献

- 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, **55** (5), 305-315 (2009).
- 2) (公財) 福井県建設技術公社: 脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究, 産学官共同研究報告書, 平成20年3月.
- 3) (公社) 国土緑化推進機構編: “ぐりーんもあ”, **72**, 2016, pp.4-15.
- 4) 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会 (公社) 土木学会木材工学委員会: 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, 第5回木材利用シンポジウム, (2014).
- 5) 沼田淳紀, 村田拓海, Saima, R., 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 (構造・地震工学), **71** (4), 274-283 (2015).
- 6) 三村佳織, 沼田淳紀, 村田拓海, 池田浩明, 原忠, Saima, R., 堀俊和: 丸太打設液状化対策の大型振動実験結果, 木材利用研究論文報告集 **12**, 85-92 (2013).
- 7) 沼田淳紀, 三輪滋, 水谷羊介, 三村佳織, 原忠, 坂部晃子, 池田浩明, Saima, R.: 丸太打設液状化対策実証実験の概要, 土木学会第68回年次学術講演会, 63-64 (2013).
- 8) 原忠, 坂部晃子, 沼田淳紀, 筒井雅行, 水谷羊介, 三村佳織, 池田浩明, Saima, R.: 丸太打設液状化対策実証実験における地盤概要, 土木学会第68回年次学術講演会, 65-66 (2013).
- 9) 筒井雅行, 沼田淳紀, 水谷羊介, 三村佳織, 池田浩明, Saima, R., 原忠, 坂部晃子: 丸太打設液状化対策実証実験における地盤改良効果, 土木学会第68回年次学術講演会, 69-70 (2013).
- 10) 三村佳織, 原忠, 坂部晃子, 石川諒, 沼田淳紀: 常時微動観測による丸太打設液状化対策工法の改良効果の検討, 第50回地盤工学研究発表会, 1907-1908 (2015).
- 11) 三村佳織, 原忠, 小林かなほ, 沼田淳紀, 三

- 輪滋：海岸埋立地における丸太打設液状化対策工法の地盤改良効果の検証その1 施工地点の概要，地盤工学会四国支部平成27年度技術研究発表会，29-30（2015）。
- 12) 原忠，小林かなほ，三村佳織，沼田淳紀，三輪滋：海岸埋立地における丸太打設液状化対策工法の地盤改良効果の検証その2 埋設機器の分析結果，地盤工学会四国支部平成27年度技術研究発表会，31-32（2015）。
- 13) 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会：温暖化緩和策に向けた具体的な木材利用技術の研究，平成21年度土木学会重点研究課題（研究助成金）報告書，平成22年3月。
- 14) 宇佐美龍夫：「新編日本被害地震総覧」，東京大学出版会編，1996，pp.350-356。
- 15) 宮崎県編：「県庁舎建築修繕（五）」，1932。
- 16) 久保光，野村崇，吉田雅穂，沼田淳紀，本山寛：足羽川から掘り出されたスギ丸太の健全性評価，木材利用研究論文報告集10，89-94（2011）。
- 17) 中村裕昭，濱田政則，本山寛，沼田淳紀：地中埋設木材の長期耐久性に関する事例調査（その2），土木学会第66回年次学術講演会，27-28（2011）。
- 18) 沼田淳紀，本山寛，桃原郁夫，久保光：大型土槽を用いた地中木材の腐朽実験，木材利用研究論文報告集10，75-82（2011）。
- 19) 高知市：新鏡川清流保全基本計画，平成19年3月。
- 20) 橋本孝之：「自然と共生する技術-水制-」という視点からの技術科教育の意義とその検証・評価，平成9，10年度科学研究費補助金基盤研究(C)(2)研究成果報告書，平成11年3月。
- 21) 高知県高知河港事務所，株式会社西日本科学技術研究所：平成9年度河港河政第2-24号鏡川河川改修追跡調査委託業務報告書，平成10年。
- 22) 雨宮昭二，松岡昭四郎，庄司要作，井上衛，阿部寛，内藤三夫：浅川実験林苗畑の杭試験(2) 防腐処理杭の10年間の被害経過，林業試験場研究報告，230，105-142（1970）。
- 23) 岡田要編：「木船木材蝕害とその防除」，日本学術振興会，1958，pp.153-161。
- 24) 生物研究社編：「海洋と生物220」，37（5），2015，pp.517-522。
- 25) 奈良県森林技術センター編：「木材保存を観点とする間伐材の土木利用マニュアル」，2011，pp.18-19。
- 26) 野田康信：「林産試だより2013年7月号」，（地独）北海道立総合研究機構編，2013，pp.5。
- 27) 森林総合研究所編：「木材工業ハンドブック改定4版」，2006，pp.56。
- 28) 森林総合研究所編：「木材工業ハンドブック改定4版」，2006，pp.787。
- 29) 森林総合研究所編：「木材工業ハンドブック改定4版」，2006，pp.795。
- 30) 森林総合研究所編：「木材工業ハンドブック改定4版」，2006，pp.796。
- 31) 土質工学会編：「現場技術者のための土と基礎シリーズ19」，1991，pp.358。
- (2016.6.1 受付)
- (2016.9.22 受理)