

建設発生木材の地中利用への再利用と判別法の提案*1

三村佳織*2, 原 忠*3, 加藤英雄*4, 野口昌宏*3,
平田晃久*5, 本田賢児*6, 松橋利明*7Reuse of Wood Used in Underground Construction
and Suggestion of a Method of DifferentiationKaori MIMURA*2, Tadashi HARA*3, Hideo KATO*4, Masahiro NOGUCHI*3,
Akihisa HIRATA*5, Kenji HONDA*6 and Toshiaki MATSUHASHI*7

When demolishing a structure, reusable and secondary materials are obtained, such as lumps of asphalt and concrete, including articles of excavated construction wood. Most especially, waste woods should be aimed at recycling with the view of effective utilization of resources, controlling wastes generated and conserving the environment. However, they are disposed of as industrial wastes in many cases, because specific uses and methods are not standardized. On the other hand, underground use of wood for the purpose of ground improvement has been suggested as new utilization of logs in large quantities. However, there are few cases in which logs excavated from construction sites are recycled for underground use because their strength and soundness cannot be specified. This study suggests an economical judging method by which timbers generated during construction that would be available for recycling can be identified on site by including excavated materials generated from locations with high moisture content because always being buried in water.

Keywords: wood, young's modulus, longitudinal vibration test

建設工事では建設副産物が副次的に得られ、アスファルトやコンクリート塊、建設発生木材など再生資源として活用できる物品が含まれている。なかでも、建設発生木材は資源の有効利用と廃棄物の抑制、環境保全の観点から再資源化を目指すべきであるが、具体的な利用先や方法が標準化されていないため産業副産物として処理される場合が多い。一方、ほぼ未加工の丸太を大量に使用する新たな消費先として地盤改良を目的とした木材の地中利用が提案されているが、建設発生木材は強度や健全性が不明確であることから利用されるケースはほとんどない。本研究では、建設発生木材の地盤改良への再利用を目指し、常時水面下に設置していた土木利用木材の強度や健全性を評価し、再利用が可能な建設発生木材を現場に居ながら判定するための簡易な判別法を提案した。

*1 Received February 8, 2017; accepted April 20, 2017. 本報告の一部は第70回土木学会大会(2015年9月, 岡山)で発表した。

*2 兼松サステック株式会社 Kanematsu-Sustech Corporation, Tokyo 103-0007, Japan

*3 国立大学法人 高知大学 Kochi University, Kochi 783-8502, Japan

*4 国立研究開発法人 森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, Ibaraki 305-8687, Japan

*5 熊本県林業研究指導所 Kumamoto Pref. Forest Research and Instruction station, Kumamoto 862-8570, Japan

*6 高知県土木部 Kochi Pref., Kochi 780-8570, Japan

*7 東青地域県民局 Tosei Regional Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Aomori 030-0901, Japan

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

1. 緒言

建設工事では建設副産物が副次的に得られ、アスファルトやコンクリート塊、建設発生木材など再生資源として活用できる物品が含まれている。現在、高度経済成長期に建設された建築構造物が老朽化による建て替えの時期を迎え、今後、建設副産物のさらなる増加が想定される¹⁾。建設発生木材は資源の有効利用と廃棄物の抑制、環境保全の観点から平成14年5月に「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」が施行され、再資源化の方針が示された。平成24年度に実施された建設副産物実態調査では、建設発生木材の再資源化率は89%と調査開始時(56%)と比較して増加傾向にあるが²⁾、建設発生木材以外の建設副産物の再資源化率(99%)に比べ低く、更なる再資源化が求められている³⁾。建設発生木材の再利用法としては再生チップやコンポスト、炭などに加工する技術が開発されてはいるが、具体的な利用先や方法が標準化されていないため、時間と費用をかけて乾燥した後、産業副産物として処理される場合が多い⁴⁾。一方、ほぼ未加工の丸太を大量に使用する新たな消費先として、Fig. 1の図中点線枠内に示す地盤改良を目的とした木材の地中利用が提案されて近年ニーズが高まりつつあるが、建設発生木材は強度や健全性が不明確であることから利用されるケースはほとんどない。

本研究では、建設発生木材を地盤改良に再利用することを目指し、異なる設置環境から回収された土

木利用木材の強度や健全性を評価し、再利用が可能な建設発生木材を現場に居ながら判定するための簡易な判別法を提案する。

2. 実験方法

2.1 供試丸太

供試丸太の回収地点は熊本県、高知県、青森県の3箇所である。Fig. 2に回収丸太の全景を示す。供試丸太は供用時の上部を頭部と定義した。

熊本県の回収地点は球磨川に建設された荒瀬ダムで、解体工事中に露出した矢板保護用牛枠を対象とした。牛枠は水位が下げられるまでの約60年間常時水面下に置かれており、施工記録⁵⁾から樹種はスギ

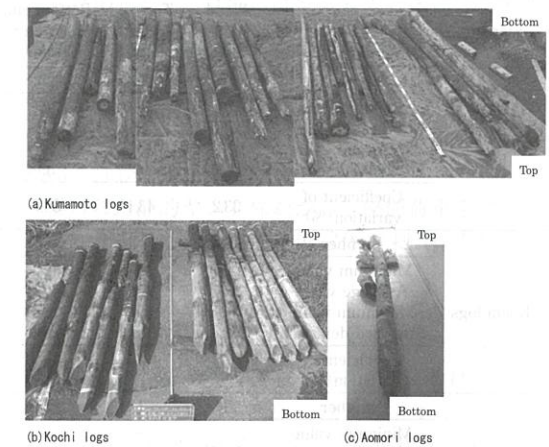


Fig. 2. Overview of the recovered logs.

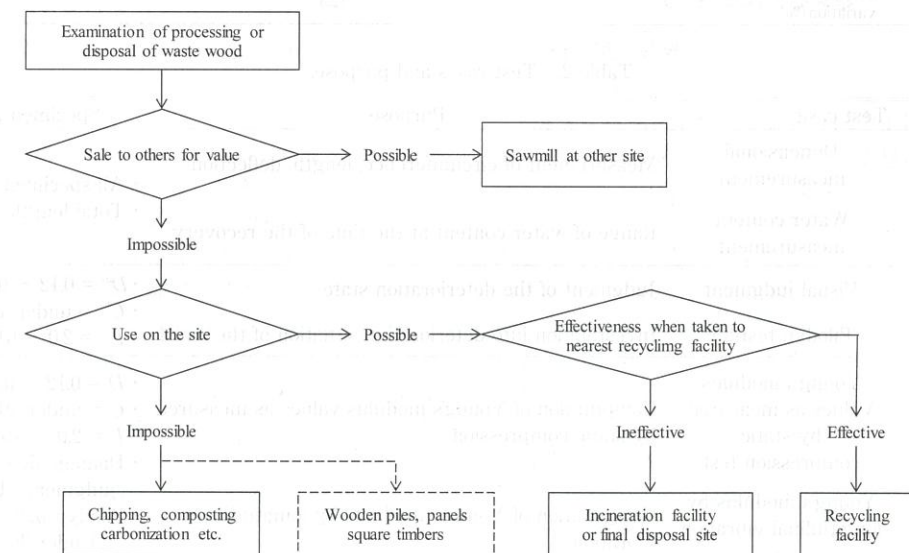


Fig. 1. Flow chart of recycling choices (civil engineering works).

であると判断された。本地点では全9基中3基の牛柵から計22本の丸太を回収した。以下、熊本県材と称する。

高知県の回収地点は鏡川で、水際部の水質改善を目的とし施工された杭出し水制工を対象とした。杭出し水制工は設置後約20年が経過しており、施工記録⁶⁾から樹種はアカマツであると判断された。調査地近傍に位置する浦戸湾の潮位観測結果から、頭部から1.5 m以深は常時水面下であったと推定した。本地点では全6グループ中2グループの水制工より計14本の丸太を回収した。以下、高知県材と称する。

青森県の回収地点は八戸港内埋立地に立地した製氷冷凍冷蔵工場で、基礎杭に使用された木杭を対象とした。木杭は県内埋立記録⁷⁾と地下水位から、約50年間常時水面下に置かれていたことがわかった。施工記録には樹種に関する記述がなかったが、樹種判定結果から、正常樹脂道が見られマツであると推定された。本地点では現場の状況から1本のみ回収した。以下、青森県材と称する。なお、各調査地点の詳細については文献⁵⁻¹¹⁾を参照されたい。

回収後、現地にて供試丸太の末口径と元口径の周長、長さ、曲りを計測し、含水率を全乾法により求

Table 1. Recovered log characteristics.

Element	Item	Wood length (mm)	Top end diameter (mm)	Bottom end diameter (mm)	Deflection (mm)	Moisture content (%)	Purpose of use (Place)	Tree species	Installation status	Passed years
Kumamoto logs	Number	22	22	22	22	7				
	Minimum value	3286	35	94	28	96	Ushiwaku (Arase Dam)	Cryptomeria japonica	Normally installed under water	About 60 years
	Average value	5276	209	171	39	175				
	Maximum value	9902	357	333	50	259				
	Standard deviation	1753	90	59	16	69				
Coefficient of variation (%)	33.2	43.1	34.7	39.9	39.6					
Kochi logs	Number	14	14	14	14	4				
	Minimum value	1820	144	150	-	104	Tree groyne (Kagamigawa River)	Pinus densiflora	Normally installed under water (Place deeper than 1.5 m)	About 20 years
	Average value	2693	168	172	-	137				
	Maximum value	3095	191	207	-	166				
	Standard deviation	312	16	18	-	30				
Coefficient of variation (%)	11.6	9.5	10.5	-	21.9					
Aomori logs	Number	1	1	1	1	2				
	Minimum value	-	-	-	-	114.0	Wooden pile (Hachinohoku)	Larix	Normally installed under water	About 50 years
	Average value	3933	162	201	-	124.9				
	Maximum value	-	-	-	-	135.8				
	Standard deviation	-	-	-	-	15.4				
Coefficient of variation (%)	-	-	-	-	12.4					

Table 2. Test cases and purpose.

Test case	Purpose	Specimen pile
Field Test	Dimensional measurement	Measurement of circumference, length, deflection • All specimen piles • Total length
	Water content measurement	Range of water content at the time of the recovery
	Visual judgment	Judgment of the deterioration state • $D^a) = 0.12 \sim 0.18$ (m) • $C^b) = \text{under } 40$ (%) • $L^c) = 2.0 \sim 6.0$ (m)
	Pilodyn testing	Investigation into deterioration situation of the wood
Laboratory Test	Young's modulus Values as measured by static compression test	• $D = 0.12 \sim 0.18$ (m) • $C = \text{under } 40$ (%) • $L = 2.0 \sim 6.0$ (m) • Damage degree judgment: Under 2
	Young's modulus by longitudinal vibration test	• Computation of Young's modulus by longitudinal vibration • Pilodyn penetration: Under 30 mm

a) D : Diameter, b) C : Camber, c) L : Length.

めた。Table 1に各供試丸太の諸特性一覧を示す。熊本県材は全体的に形状に違いがみられた。これは牛柵を構成している部位ごとに適した大きさの直径や長さの丸太を配置したためと推察される。一方、高知県材と青森県材は同一現場内ではほぼ同形状の材が用いられていた。含水率は3現場での最小値が96%であり、全てが繊維飽和点以上の高含水率状態であった。

土木利用事例を参考¹²⁻¹⁶⁾に利用可能な材の直径や長さを整理すると、末口径0.12~0.18 m、矢高が末口径の40%以下、長さ2.0~6.0 mが目安である。この条件に適合する供試丸太を選定した結果、熊本県材では22本中12本、高知県材と青森県材は全供試丸太が該当し、全回収量の半数以上が地中利用への再利用可能な形状を有していると判断された。本研究では、選定された供試丸太を対象に以下に示す方法で健全性と強度を評価した。Table 2は各試験項目と目的を示したものである。

2.2 現地試験

2.2.1 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: 2010¹⁷⁾) のうち野外試験で定められている被害度判定で判断した。判定箇所は供試丸太の頭部から0.5 m区間ごととし、9人の判定者の結果を統合し判定結果を整理した。

2.2.2 Pilodynによるピン打込み深さの測定

Pilodynによるピン打込み深さの測定は、Proceq社製のPILODYN、6J-Forest (ピン直径2.5 mm、測定範囲0~40 mm) 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貫入量を読み取った。測定箇所は供試丸太の頭部から0.5~1.0 m間隔である。

2.3 室内試験

現地試験後、供試丸太の健全部より最大で約1.0 mの長さの供試体を作製した。作製時には木口面がそれぞれ平行となるように注意し切断した。

2.3.1 静的加力による縦圧縮ヤング係数の測定

静的加力による縦圧縮ヤング係数は、ひずみゲージ式軸変位計を用いて載荷過程での変位量から求めた。軸変位計は、Fig. 3に示す上下端の木口面から25 cm、丸太を挟んで対称の位置に取り付けたL型アングルにそれぞれ設置した。圧縮はテンシロン型万能試験機 (UCT-10T) を用い、ひずみ制御にてストローク変位一定0.5 mm/sで実施した¹⁸⁾。

2.3.2 縦振動法

縦振動法は、供試体をクッション用のスポンジを載せた脚立に静置後、片方の木口面をハンマーで打

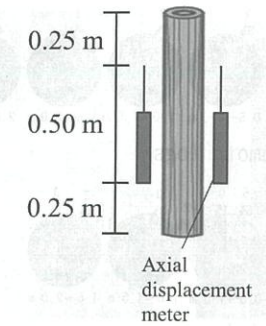


Fig. 3. The mounting position of axial extensometers.

撃し縦振動の1次の固有振動数を求め、式(1)により算出した¹⁹⁾。算出には供試丸太の末口径と元口径の平均値を採用した。

$$E = (2L \cdot f)^2 \rho \quad (1)$$

ここに、 E : 弾性係数 (N/mm²)、 L : 材長 (m)、 f : 固有振動数 (Hz)、 ρ : 密度 (kg/m³) である。

2.3.3 打設時の座屈検討

得られた静的ヤング係数から、座屈荷重を式(2)により算出した。算出には供試体の末口径を採用した。

$${}_L P_K = \pi^2 \frac{EI}{l^2} \quad (2)$$

ここに、 ${}_L P_K$: 座屈荷重 (kN)、 E : 木材のヤング係数 (kN/m²)、 I : 断面二次モーメント (m⁴)、 l : 一箇所の水平剛性を考慮した座屈長 ($L/2$) (m) である。

3. 結果および考察

3.1 現地試験結果

3.1.1 目視判定

Fig. 4に目視判定結果を示す。図中下には頭部からの距離を併記する。目視判定の被害度評価と圧縮強度減少率との関係では²⁰⁾、被害度3で30~50%の強度減少率がみられることから、被害度の平均値が2.5になったときを耐用年数と定めている。本判定結果から、熊本県材では全供試丸太、高知県材は頭部から1.0 m以深、青森県材は頭部から0.5 m以深で、被害度の平均値が2.5より小さくなっていた。高知県材は被害度が2.5以上の頭部付近で該当箇所の丸太表面に無数の穴と抜け殻が確認され、腐朽とともに激しい虫害が発生していた²¹⁾。一方、青森県材は解体作業時に発生した破損部の変色が腐朽と判断された可能性がある。

3.1.2 Pilodynによるピン打込み深さの測定

Fig. 5にPilodynによるピン打込み深さの測定結

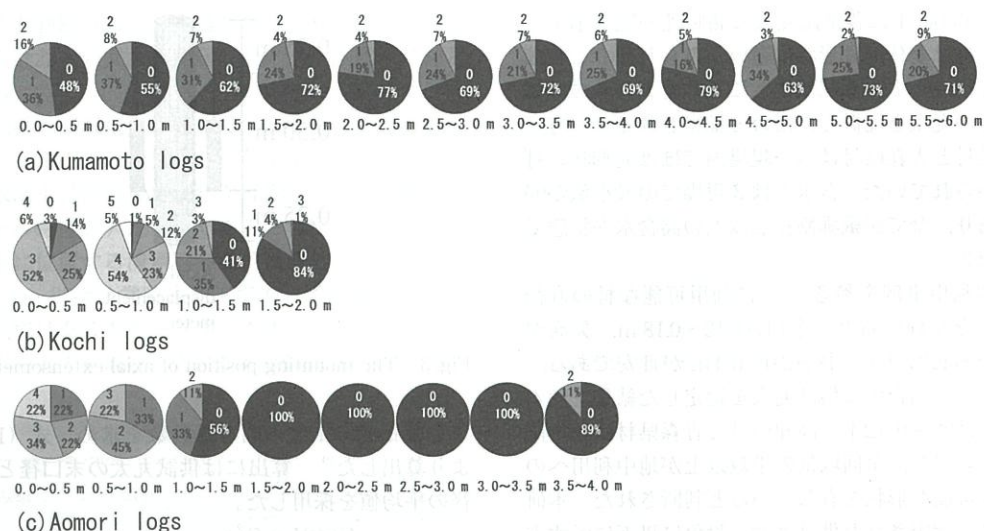


Fig. 4. Visual judgment results.

果を示す。同図中には平均値と全体平均の68%信頼区間(±σ)を併記した。全供試丸太のピン打込み深さは14~35 mm, 平均値(標準偏差)は21.6(±4.2) mmであった。熊本県材は供試丸太ごとのばらつきがみられ, 高知県材は頭部付近で値が高くなるが頭部から1.0 m以深では20 mm前後の値が得られた。青森県材はピン打込み深さが全深度において20 mm以下となっており, 破損部の変色は表面上の問題であり内部は健全であった。

一連の現地試験の結果, 各調査地点で使用用途や設置環境・樹種などが異なっていたが, いずれの結果でも貫入量が大きくなる箇所はおおよそ常時水面以下に該当していた。常時水面下では虫や腐朽菌

が生息できないため, 生物劣化が発生せず健全な状態が保たれたと考えられる。

3.2 室内試験結果

3.2.1 静的加力による縦圧縮ヤング係数の測定

Fig. 6に供試体の全景を, Table. 3に各供試体の諸特性と室内試験結果の一覧をそれぞれ示す。静的加力による縦圧縮ヤング係数の平均値は, 熊本県材で7.56 kN/mm², 高知県材で8.18 kN/mm², 青森県材で9.60 kN/mm²であった。日本建築学会「木質構造設計規準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法-」で示された基準弾性係数²²⁾は, スギが7.0 kN/mm², マツが8.0 kN/mm²となっており, 供試丸太はいずれも基準値以上の値を示していた。ここで,

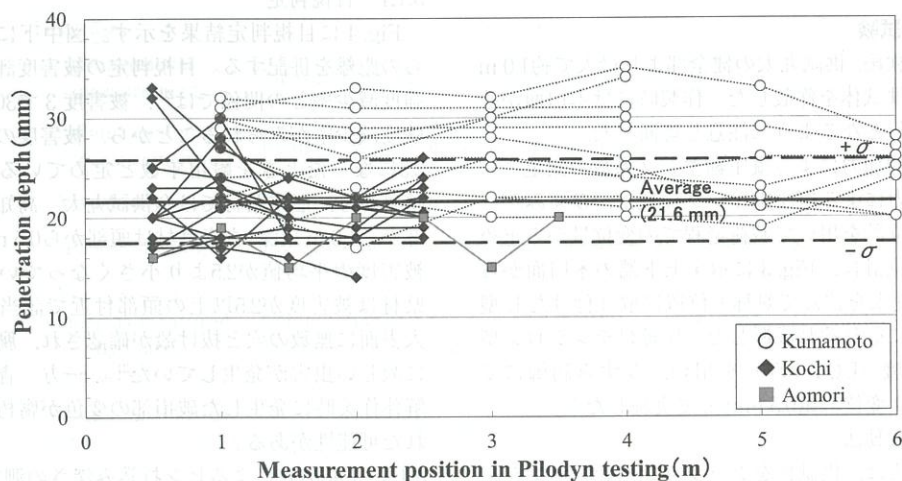


Fig. 5. Relation between penetration depth and measurement position in Pilodyn testing.

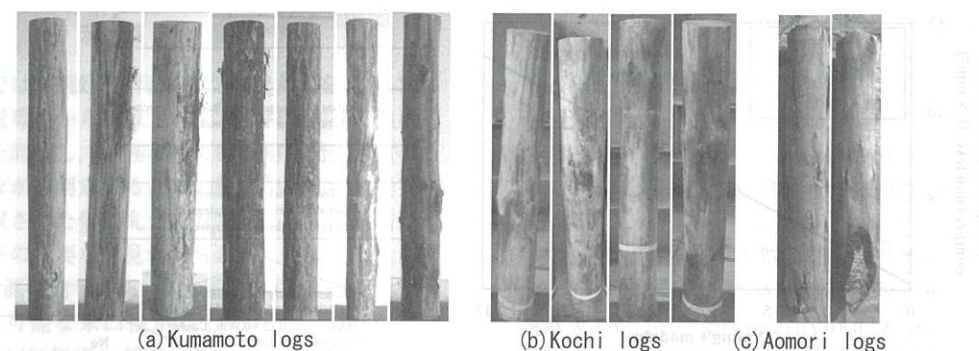


Fig. 6. Overview of the samples.

Table 3. Sample characteristics and test values.

Element	Item	Wood length (mm)	Top end diameter (mm)	Bottom end diameter (mm)	Average diameter (mm)	Density (kg/m ³)	E _{fr-L} ^{a)} (kN/mm ²)	E _c ^{b)} (kN/mm ²)	Moisture content (%)
Kumamoto logs	Number	7	7	7	7	7	7	7	7
	Minimum value	998	124	127	125	697.5	6.26	5.47	95.9
	Average value	1001	147	160	153	886.5	8.31	7.56	174.6
	Maximum value	1005	172	190	177	1068.6	10.76	9.80	259.4
	Standard deviation	3	18	23	19	168.9	1.71	1.68	69.2
	Coefficient of variation (%)	0.3	12.5	14.4	12.2	19.1	20.6	22.3	39.6
Kochi logs	Number	4	4	4	4	4	4	4	4
	Minimum value	980	150	153	152	962.6	8.80	6.40	103.6
	Average value	989	153	162	156	996.7	9.81	8.18	137.2
	Maximum value	1000	154	170	159	1036.1	11.15	9.50	166.4
	Standard deviation	9	2	7	3	30.2	1.04	1.38	30.1
	Coefficient of variation (%)	0.9	1.2	4.4	2.1	3.0	10.6	16.9	21.9
Aomori logs	Number	2	2	2	2	2	2	2	2
	Minimum value	658	162	168	163	801.9	9.60	9.40	114.0
	Average value	816	164	169	165	881.6	9.85	9.60	124.9
	Maximum value	973	165	170	168	961.3	10.10	9.80	135.8
	Standard deviation	223	2	1	4	112.7	0.35	0.28	15.4
	Coefficient of variation (%)	27.3	1.3	0.8	2.1	12.8	3.6	2.9	12.4

a) E_{fr-L}: Young's modulus by longitudinal vibration method.
b) E_c: Young's modulus by static flexure method.

前述の3.1.2項で熊本県材のピン打込み深さが30 mm以上であった供試丸太は, 供試丸太中心部の腐朽は見られず, 約60年経過後も生木と同等のヤング係数を保持していた。

3.2.2 縦振動法

縦振動法による動的ヤング係数は静的加力による縦圧縮ヤング係数と比較して全体的に値が大きく, 平均で約1.1倍であった。この傾向は, 動的ヤング係数は静的ヤング係数より5~10%大きな値を示す

との既往の研究成果²³⁾に類似している。

Fig. 7に静的加力による縦圧縮ヤング係数と縦振動法によるヤング係数との関係を示す。同図中には実線で示す最小二乗法により求めた近似線と, 点線で示す全体平均の68%信頼区間(±σ)を併記した。各供試丸太より得られたヤング係数のばらつきはいずれも68%信頼区間(±σ)内に収まっていた。また, 静的ヤング係数と動的ヤング係数との間には相関が認められるが²⁴⁾, 設置後約20~60年が経過した

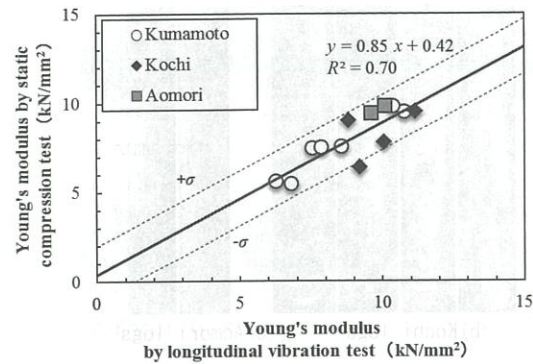


Fig. 7. Relation between Young's modulus values as measured by the static compression and longitudinal vibration tests.

建設発生木材においてもその関係性が認められることが明らかとなった。

3.3 打設時の座屈荷重の検討

試験を行った供試丸太の中から、条件の最も厳しい末口径123.5 mm、ヤング係数が7.58 kN/mm²の熊本県材の結果を用いて $L = 6.0$ (m) で算出した結果、座屈荷重は94.9 kN となった。戸建住宅での打設施工を想定した場合、一般的に使用される木杭打設機の圧入力は約70.0 kN であるので、室内試験を行った供試丸太は全て打設中の座屈は生じにくいことが確認された。すなわち、基準のヤング係数以上のヤング係数を保持していれば、長期間使用された建設発生木材においても打設時の圧入に耐えうる座屈荷重を有していることが明らかとなった。

4. 地中利用が可能な建設発生木材の判別法の提案

異なる3現場から得られた供試丸太を対象に現地および室内試験を行った結果、常時水面下に設置され健全性が確認できた箇所は生木と同等のヤング係数を有し、座屈検討の結果から打設可能であることがわかった。本実験結果に基づき、再利用が可能な建設発生木材を現場に居ながら判定するための簡易な判別法を提案する。

Fig. 8 に再利用判別フローを示す。まず、①既存資料から樹種や常時水面などの設置環境に関する情報を入手する。次に、②丸太の寸法を計測し、地中利用可能な形状の木材を選定する。この際、含水率は初期状態の把握にもつながることから回収後の含水率測定が望ましいが、現場に含水率測定器がない場合には、常時水面下に設置されていた丸太は繊維飽和点以上の高含水率²⁵⁾であると判断してもよい。続いて、③目視判定と Pilodyn によるピン打込み深

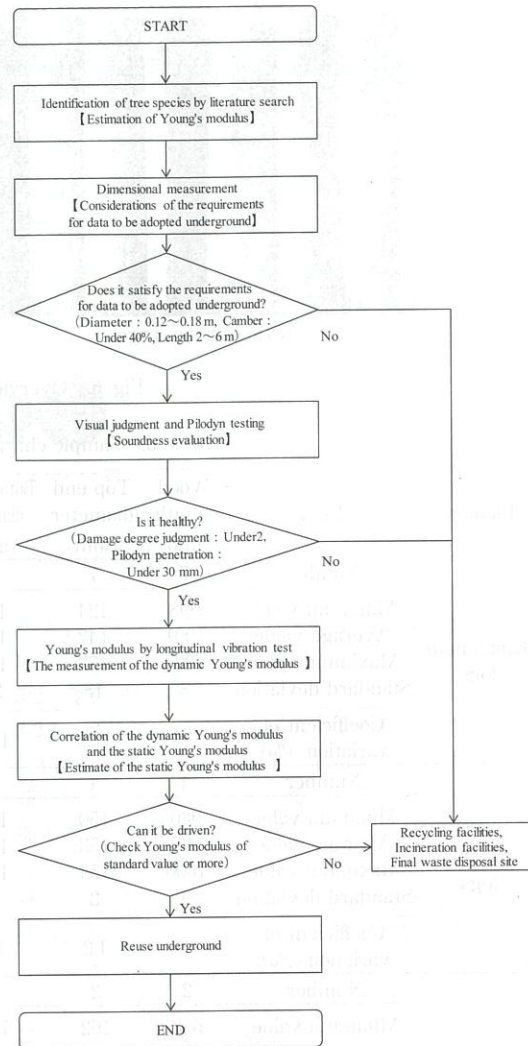


Fig. 8. Flow chart of discrimination to effectively direct waste wood to local underground reuse.

さの測定から健全度を評価する。被害度の平均値は2.5が基準であるが、被害度が3の「部分的に激しい虫害または腐朽」があった箇所は打設時に荷重が集中し座屈する危険性が想定されるため、被害度の平均値は2に定める。さらに、④縦振動法により現地で動的ヤング係数を測定し、Fig. 7 に示す関係から縦圧縮ヤング係数を推定する。最後に、⑤推定されたヤング係数と①で判断した樹種の平均的なヤング係数を比較し、現地の結果が既往のヤング係数以上となることを確認する。以上の①~⑤の条件を満たした建設発生木材は、地中利用に再利用できると判定する。

5. 結 論

本研究では、複数から得られた供試丸太を対象に、異なる設置環境から回収された土木利用木材の強度や健全性を評価し、再利用が可能な建設発生木材を現場に居ながら判定するための簡易な判別法を提案した。回収された供試丸太に対する一連の実験結果から、以下の主要な知見が得られた。

1. 寸法計測の結果から、全回収量の約半数が地中利用に可能な末口径が0.12~0.18 m、矢高が末口径の40%以下、長さが2.0~6.0 mの形状を有していることがわかった。
2. 目視判定と Pilodyn によるピン打込み深さの測定の結果から、各回収地点で使用用途や設置環境・樹種などが異なる場合であっても、常時水面下では目視判定で被害度の平均値が2.5以下、ピン打込み深さはおおよそ20 mm 前後の値が得られ、健全な状態が長期間保持されることがわかった。
3. 静的加力による縦圧縮ヤング係数の測定と縦振動法の結果から、常時水面下であれば設置後約20~60年が経過した場合であっても、生木と同等のヤング係数を保持されることがわかった。
4. 健全性が確認され、生木と同等のヤング係数を示す建設発生木材は、一般的な木杭打設機の圧入力よりも大きな座屈荷重を有することから地中への丸太打設が可能と判断した。適切に評価された建設発生木材は、地中利用へ再利用できる可能性が示唆された。
5. 得られた建設発生木材の強度や健全性を評価することで、再利用が可能な建設発生木材を現場に居ながら判定できる簡易な判別法を提案した。

謝 辞

本実験を行うにあたり、熊本県企業局総務局経営課荒瀬ダム撤去室の堀内真二氏、村上昭太郎氏、熊本県林業研究指導所の三井幸成氏、株式会社フジタの桑本卓氏、小林かなほ氏他荒瀬ダム撤去工事関係各位、高知県高知土木事務所の中内卓也氏関係各位、大旺新洋株式会社の下村昭司氏他関係各位、飛鳥建設株式会社の沼田淳紀氏他関係各位、株式会社石上建設の馬場秀紀氏他関係各位、高知大学地盤防災学研究室の皆様のご協力を得ました。ここに記して、深謝の意を表します。

文 献

- 1) 国土交通省：建設リサイクル推進策検討小

委員会, http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/recyclehou/recycle_rule/index03.htm 2016年12月22日参照。

- 2) 国土交通省：平成24年度建設副産物実態調査結果について, http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo03_hh_000058.html 2016年12月22日参照。
- 3) 国土交通省北海道開発局：建設発生木材リサイクル推進マニュアル(北海道版), http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_jigyoku/gijyutu/recycle.html 2017年1月10日参照。
- 4) 環境省：木くずの現状について, <http://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y0312-01/mat03.pdf> 2015年1月9日参照。
- 5) 柴田平：荒瀬ダム施工概要。群峯第5・6号, 17(1955)。
- 6) 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, 1998, p.6。
- 7) 三八地域県民局三八地方漁港漁場整備事務所内資料, 1989。
- 8) 原 忠, 三村佳織, 加藤英雄, 平田晃久, 三井幸成：熊本県荒瀬ダム撤去工事に伴う出土木の調査研究(その1 研究背景と健全度評価), 第70回年次学術講演会講演概要集, 2015, pp.791-792。
- 9) 三村佳織, 原 忠, 小林かなほ, 加藤英雄, 本田賢児：潮位変動の影響を受けた杭出し水制工に関する調査研究(その1 調査地点の概要と健全度評価), 第71回年次学術講演会講演概要集, 2016, pp.141-142。
- 10) 三村佳織, 原 忠, 小林かなほ, 加藤英雄：潮位変動の影響を受けた杭出し水制工の長期耐久性評価, 第51回地盤工学研究発表会, 2016, pp.2221-2222。
- 11) 原 忠, 三村佳織, 林 聖淳, 加藤英雄：埋立地盤に打設された木杭の長期耐久性評価 その1 施工地点の概要, 平成28年度地盤工学学会四国支部技術研究発表会, 2016, pp.41-42。
- 12) 新潟県農地部：基礎木杭設計指針, <http://www.pref.niigata.lg.jp/nochikanri/1307397609343.html> 2017年1月10日参照。
- 13) 大分県農林水産研究指導センター林業研究部：土木用木材の使い方Ver.1, <http://www.pref.oita.jp/soshiki/15088/dobokumokuzai.html> 2017年1月10日参照。
- 14) 長野県林務部, 長野県木材協同組合連合会：

丸太基礎杭設計マニュアル, <https://www.pref.nagano.lg.jp/rinsei/kensei/nyusatsu/sekisankijun/documents/marutakui.pdf> 2017年1月10日参照.

15) 北海道水産林務部林務局林業木材課利用推進グループ: 土木用木材・木製品設計マニュアル, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/t-manual.htm> 2017年1月10日参照.

16) 福井県木材利用研究会, 福井県雪対策・建設技術研究所: 丸太杭工法を用いた軟弱地盤対策の設計・施工マニュアル産学官共同研究報告書, <http://toshichan.be.fukui-nect.ac.jp/yoshida/mokuzai/link/index.html> 2017年1月10日参照.

17) JIS K 1571: 木材保存剤 - 性能基準及びその試験方法. 日本規格協会 (2010).

18) JIS Z 2101: 木材の試験方法. 日本規格協会 (2009).

19) 岩井 哲, 大林 眞: 木材弾性係数の非破壊試験のための工学実験教育における打撃音法の利用. 広島工業大学紀要教育編6巻, 2007, pp.15-18.

20) 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, 1970, pp.105-142.

21) 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43(1), 2016, pp.2-12.

22) “木質構造設計規準・同解説 - 許容応力度・許容耐力設計法 -”, 日本建築学会編, 丸善出版, 東京, 2006, p.339.

23) 園田里見, 大橋義徳, 久保島吉貴, 相馬智明: 動的弾性係数の非破壊測定法. 構造用木材の強度試験マニュアル, 2011, pp.59-78.

24) 松本 昴: 木材の動的弾性率 特に撓み振動によるヤング率と対数減衰率とに関する研究. 九州大学農学部演習林報告36, 1962, pp.1-86.

25) 加藤英雄, 原 忠, 三村佳織, 小林かなほ: 潮位変動の影響を受けた杭出し水制工に関する調査研究 (その3. 使用樹種の合理的利活用に関する検討), 土木学会第71回年次学術講演会, 2016, pp.145-146.