

地中使用木材の長期耐久性に関する事例調査(その2)

地域環境研究所 正○中村裕昭, 早稲田大学 正 濱田政則
飛鳥建設 正 本山 寛・正 沼田淳紀

1. 調査研究の背景と目的

木杭に代表される地中で使用する木材は、軽量かつ現場で加工し易いことから、大型の施工設備を導入し難い軟弱地盤や狭い作業スペースの現場で有効な土木材料であり、しかも CO₂のストック削減効果¹⁾や木材需要の安定化による林業再生、それに伴う森林整備による CO₂吸収や土砂災害抑止効果等の波及効果も期待できる。また、砂地盤での液状化対策として期待²⁾されている。ところが、地中で使用する木材は、『地下水位で深では腐朽しないが、地下水位で浅では腐朽のおそれがある』という考え方が一般化しており、これが木杭使用上の大きな制約となっている感がある。しかし、果たして、地下水位で浅というのは、木材腐朽の絶対条件なのだろうか。この根本的課題は未解決である。

そこで実際に地中で使用された木材の経年後の腐朽実態(長期耐久性)について、以下の要領で検証を試み、その途中経過について文献³⁾では、①木材地中利用の意義、②既往木杭の発掘現場調査の概要、③既往地中木材発掘調査事例から得られた知見、等について報告したので、本稿では、④遺跡等で見られる地中における木材の多様な用途、⑤既設木杭の発掘調査の現場および地盤条件と⑥採取材の耐久性試験の方法と結果の概要、を報告し、⑦地下水と地盤条件を考慮した地中利用木材の設計の考え方を提案する。

2. 遺跡等の発掘調査で確認された地中における木材の多様な用途と腐朽実態

我が国の伝統的土木技術として城の石垣や石橋の基礎に梯子胴木基礎が用いられてきたことは知られている。佐賀城址の発掘調査を行った佐賀県教育委員会にヒアリング調査を実施した所、表-1にまとめたように木材を地中で多様な用途で活用していたことが分かる。佐賀城は低平地に築かれた平城で、地盤は典型的な軟弱地盤、但し周囲を堀で囲まれており高い地下水位が保たれていることが特徴である。表-1で取り上げた発掘遺構は天保6年(1835年)の火災焼失後に再建されたものと見られ、経過年数は約150年である。全体に腐朽せず健全な状態で確認されたが、表-1のNo.7の枕木材で腐食が見られた。地下水位面以浅かつ埋め戻し土で覆われていた。

表-1 佐賀城跡の発掘調査で出土した地中木材事例一覧(文献4)に加筆修正)

No.	木材用途	場所	木材区分	備考	目視での木材の健全性	出典
1.	建物礎石基礎 地盤改良	本丸御納戸・屯之間(たまりのま)	地固め用材(松, 丸太)	粘土混じり砂, 瓦, 丸太を交互に重ねて地固め	概ね健全(顕著な腐朽は見られない)	5)
2.	土塁石垣基礎	西側土塁石垣	胴木材(松), 枕木材(松), 杭	湾曲した野物材の上下面を面取り, 砂の客土	概ね健全(顕著な腐朽は見られない)	5), 6)
3.	櫓台石垣基礎	南西隅櫓台(赤岩)	胴木材(松), 枕木材(松), 杭	面取り材と野物材が混在, 胴木基礎地盤は豆砂利と砂で密に締固め, 石垣前面は石材を重点して根固め	概ね健全(顕著な腐朽は見られない)	6)
4.	堀護岸(土塁石垣)基礎	西側土塁の堀側13面(赤岩)	胴木材(松), 杭(胴木のずれ防止, 松)	面取り材と野物材が混在,	概ね健全(顕著な腐朽は見られない)	6)
5.	石樋基礎	西側土塁石垣北端から72m地点	胴木, 貫材	石垣下部貫通, 石樋用途は飲料水等の上水施設と推測されている	概ね健全(顕著な腐朽は見られない)	6)
6.	木樋材及び木樋基礎	西側石垣北端から9m地点	樋管材: 床板, 側板, 蓋材, 貫(側板固定用), 栓(側板止め), 木樋基礎材: 胴木	石垣下部貫通, 45cm沈下, 木樋用途は構造の精巧さから上水施設と推測されている	概ね健全(顕著な腐朽は見られない)	6)
7.	構造物基礎	南西隅櫓台西張出し	枕木材(胴木を支える), 杭木(胴木と枕木材を繋ぐ)	堀水面より元口側(北側)は上位, 末口側(南側)は下位	元口側が著しく腐食, 末口側が相対的に健全	6)
8.	土橋状構造物基礎	石樋西木組遺構	土留材, 枕木, 敷板	木材は健全	概ね健全(顕著な腐朽は見られない)	6)

考古学分野では、古くは縄文遺跡を含め多数の木製品の発掘事例が報告があり、その中の1つ埼玉県深谷市の皿沼西遺跡に着目した。この遺跡は、平安時代の地震時の液状化噴砂が見られることで有名で、この遺構で木製の井戸枠が発掘⁷⁾されている。経過年数は約1,190年と見られる。周囲地盤は砂質優勢だが、井戸枠の周辺は砂と粘土とが交互に重ねられていた。水田地帯だが、隣接する河川水面より高い位置にあることから、非灌漑期は地下水位面以浅であると思われるが、粘土による周辺地盤対策が腐食の防止効果に繋がったものと見られる。今後の腐朽対策上貴重な知見である。

3. 既設木杭の発掘調査現場の地盤条件と耐久性試験の結果

既設木杭の発掘4サイトで、表-2に示す健全性評価試験(目視, ピロディン, 縦圧縮)および樹種の判定を行った。

表-2 採取木杭の健全性評価のための試験内容

No.	試験項目	試験の内容
(1)	目視による評価	木杭を軸方向50cmごとに区切り、各部の表面について「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準(JIS K 1571:2004)」に準じて腐朽度を6段階に評価した。評価は3名で行い、平均値を求めた。
(2)	ピロディン試験	木杭から深度方向50cm毎に厚さ10cmの円盤状に供試体を切り出し、これについて半径方向に(表面から中心へ)24点のピロディン試験を実施した。なお円盤は、気乾状態と飽和状態の2通りの水分状態のものを作成し試験に供した。ピロディン貫入量30mmが腐朽の目安。
(3)	縦圧縮試験	ピロディン試験後の円盤から試験体を切り出し、JIS(JIS Z 2101:1994)に準じて縦圧縮試験(荷重を繊維方向に与える)を実施した。試験体は年輪の中心から90°ごとの4方向の4点/円盤を基本とし、ほぼ同一深度の2つの円盤で気乾と飽和とで実施した。

キーワード 木杭, 軟弱地盤, 既設構造物, 地下水位, 腐朽, 地球温暖化

連絡先 〒332-0035 埼玉県川口市西青木3-4-2 (株)地域環境研究所 TEL. 048-259-0645 E-mail: naka-h@isis.ocn.ne.jp

既設木杭の発掘4サイトの概要を表-3に示す。4サイトでは、木杭の埋設環境を観察するとともに、木杭を採取して採取木杭の健全性評価試験の結果および調査全般から得られた知見を表-4にまとめた。

表-3 既設木杭の発掘現場の地盤条件一覧

No.	事例区分	所在地	地形区分	経過年数	木杭深度	地下水位	杭頭の地下水位条件	杭頭周辺地盤条件	文献
①	足羽川木田橋橋脚基礎	福井県福井市	福井低地(足羽川谷底低地)	約59年	河床上河川水内に1m程度突出、地中部長2.1~4.2m	河床部などで河川水位で評価	河川および地下水位以深	G.L. ±0~-0.7m迄は礫混り砂、G.L.-4m迄粘性土	8)
②	霞ヶ関中央合同庁舎建物基礎	東京都千代田区霞ヶ関	武蔵野台地淀橋台と東京低地の境界付近	約115年	G.L.-2.6~-8.2m	G.L.-10m程度	地下水位以浅	地形境界などで層相変化著しい	9)
③	武蔵野台地高架橋基礎	東京都渋谷区	武蔵野台地下末吉面の小規模開析谷	約82年	杭頭はG.L.-5m	G.L.-5.5m程度	地下水位以浅	細粒分質砂	10)
④	燕市橋台基礎	新潟県燕市	信濃川三角州性低地	約85年	G.L.-1.9~-6.5m	G.L.-1m程度	地下水位以深	粘性土	11)

表-4 採取木杭の健全性評価試験の結果および得られた知見一覧

No.	事例区分	目視	ピロディン試験	縦圧縮試験	樹種	知見	文献
①	足羽川木田橋橋脚基礎	河床上突出部で流水の影響と見られる物理的損傷	ばらつきがあるが全て30mm以下	全て飽和時許容応力度を上回った	スギ	杭芯部での縦圧縮強さは深度方向で有意な差は認められなかったが、特に河床から-0.7m以深の粘性土部は見目で新鮮さが保持されていた。	8)
②	霞ヶ関中央合同庁舎建物基礎	全体として表面が腐朽。腐朽による横方向のひび割れが見られた。	飽和状態は一部で貫入量が30mmを超えた	全て飽和時許容応力度を上回った	マツ属	外周部で腐朽程度が大きく、かつばらついていたが、内部では健全性を維持していた。	9)
③	武蔵野台地高架橋基礎	杭頭部について、形が崩れる程の腐朽と軽度の腐朽とばらついた。	杭頭部付近で30mmを超え、それ以深では概ね20mm程度。	全て飽和時許容応力度を上回った	マツ属、カラマツ属	地盤との関連でみると自然堆積地盤(層界面等堆積構造が残る)に打ち込まれている部分は健全で、相対的に腐朽が見られるのは、埋め戻し部分で顕著ある。	10)
④	燕市橋台基礎	杭頭付近は健全もしくは軽度の腐朽だが、それ以深は全て健全。	飽和条件で全て20mm前後	全て飽和時許容応力度を上回った	マツ属	平時は地下水位以深であっても、融雪用揚水等で地下水位が低下することがある場合、杭頭部に隙間(空間)があると腐朽の可能性が示唆された。	11)

4. まとめ

遺跡および既設木杭等の発掘調査から、地下水位以浅であっても地下水位変動履歴と地盤条件によっては、長期間(概ね50年以上)にわたって腐朽せず健全性が維持されている木材の地中利用事例を多数確認した。これらの事例調査から得られた知見を踏まえ、地下水・地盤条件を考慮した木材地中利用の基本的考え方を以下に列記する。

- ① 地下水位は一定値ではなく地域特性や降雨によって日変動もすれば季節変動もする。また、自然および社会環境の変化によって経年的に大きく変化する場合もある。従って、木杭の設計地下水位としては想定し得る最高水位と最低水位を設定して、地下水位変動領域を考慮する。
- ② 基本的に最高水位以浅の木杭には腐朽対策が必要だし、最低水位以深の木杭には腐朽対策を必要としない。
- ③ 地下水位変動領域については、周囲の地盤条件、杭と周辺地盤との密着性や杭頭部での隙間等の出現可能性等に配慮して腐朽対策の必要性を検討する。杭周囲地盤の評価には負圧(サクション)を参考にする。

今後、更に、上記視点での文献の分析作業および事例の蓄積、実験による検証等行っていきたい。

謝辞: 本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(A)研究課題:木材活用による液状化・流動化対策技術に関する研究)の補助を受けて実施したものです。関係各位に心より感謝申し上げます。

引用・参考文献: 1) 沼田淳紀・本山 寛・久保 光・吉田雅徳・濱田政則・中村裕昭・外崎真理雄:丸太打設による地盤改良工事における二酸化炭素排出量と貯蔵量の算出,第44回地盤工学研究発表会,pp.1793~1794,2009.8./2) 沼田淳紀・吉田雅徳・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, 009.9./3) 中村裕昭・濱田政則・本山 寛・沼田淳紀:地中使用木材の長期耐久性に関する事例調査,第46回地盤工学研究発表会,2011.7.[投稿中]/4) 末次大輔・中村裕昭・沼田淳紀:7.1.2 佐賀城跡での木材遺構,2010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,土木学会木材工学特別委員会,pp.103~105,2011.3./5) Web-Site:佐賀県立佐賀城本丸歴史館>展示案内>佐賀城本丸御殿の復元[http://sagajou.jp/tenji/fukugen.html]/6) 佐賀県教育委員会:佐賀城石垣,佐賀城公園整備工事報告書,県史跡「佐賀城跡」本丸土塁石垣に関する調査・復元工事報告,佐賀県文化財調査報告書第161集,2005.3./7) 埼玉県埋蔵文化財調査事業団・埼玉県教育委員会:平成21年度第8回遺跡見学資料『血沼西遺跡 西暦818年・大地震が深谷をおそう!~古代のムラの開発と復興~』,2010.1./8) 本山 寛・沼田淳紀・吉田雅徳・久保 光・野村 崇・直井義政:足羽川木田橋橋脚基礎に使用された杭丸太の健全性調査,第44回地盤工学研究発表会,pp.1789~1790,2009.8./9) 中村裕昭・安村直樹・沼田淳紀・上杉章雄:中央合同庁舎地下から採取された木杭の健全性評価,土木学会平成20年度全国大会第63回年次学術講演会講演概要集,第I部門,1-421,pp.841~842,2008.9./10) 中村裕昭・濱田政則・本山 寛・沼田淳紀:80年前に施工された木杭の健全性調査,第44回地盤工学研究発表会,pp.1791~1792,2009.8./11) 中村裕昭・沼田淳紀・本山 寛・水谷洋介・濱田政則:中央合同庁舎地下から採取された木杭の健全性評価,土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会講演概要集,CS,pp.33~34,2010.9.