

RC 造 4 階建物の基礎に用いられていた 木杭の健全度調査

村田 拓海¹・沼田 淳紀²・古垣内 靖³・張 媛⁴

¹正会員 飛島建設(株) 技術研究所 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)
takumi_murata@tobishima.co.jp

²正会員 飛島建設(株) 土木事業本部 (〒108-0075 東京都港区港南 1-8-15)
atsunori_numata@tobishima.co.jp

³非会員 東急建設(株) 技術研究所 (〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名 3062-1)
furugaichi.yasushi@tokyu-cnst.co.jp

⁴非会員 東急建設(株) 技術研究所 (〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名 3062-1)
zhang.yuan@tokyu-cnst.co.jp

地球温暖化緩和策として木材の長期大量使用が有効であるため、軟弱地盤対策への木材利用が提案されている。木材の長期利用には耐久性が重要であり、地下水位や地盤特性と木杭の腐朽との関係はある程度明らかにされているが、建物基礎底面との関係は未解明な部分が多い。今回、約 60 年前に完成した同規模の 2 棟の RC 造 4 階建物の解体撤去に伴い、これらの木杭基礎に対して健全度調査を実施した。2 棟の内 1 棟はわずかな傾斜が生じ、もう一方は目立った変状は認められていない。調査の結果、建物の傾斜方向と頭部に腐朽が生じていた木杭の位置が一致し、木杭頭部の腐朽が建物の傾斜の要因と推察された。また、周囲地盤が暗青灰色を示した木杭は健全であり、地盤により空気が遮断されていれば木杭は腐朽しないことが確認された。

Key Words: wooden pile, visual observation, pilodyn wood tester, global warming

1. はじめに

支持力を十分に有さない軟弱地盤への対応として、木杭は古くから世界中で使われてきた。例えばヴェネツィアのリアルト橋¹⁾には木杭基礎が用いられ、完成後 400 年以上経った現在も大きな変状がなく利用されている。国内においても、1932 年に完成した宮崎県庁²⁾や、1958 年に開業した新潟駅本屋³⁾など多くの構造物に木杭基礎が用いられ現在も供用されている。

このように木杭は広く用いられていたが、国内では森林の過伐による木材資源枯渇への懸念から、「木材資源利用合理化方策」が 1955 年に閣議決定され、杭は人工材料であるコンクリート杭や鋼管杭に代替されていった⁴⁾。これに伴い、各種設計書から木杭に関する記述が徐々に減り、道路橋示方書では 1976 年、建築基礎構造設計指針では 1988 年に木杭に関する記述は姿を消した⁵⁾。

一方で、地球温暖化は日々深刻化している。IPCC 第 5 次評価報告書には、世界の平均気温が 2012 年までのわずか 132 年間で 0.85℃上昇し、この要因が 1750 年以降の

人為的にもたらされた大気中の二酸化炭素濃度の増加である可能性が極めて高いことが示されている。また、どのようなシナリオを当てはめても 21 世紀末の気温は現在よりも上昇するとされ⁶⁾、2015 年の COP21 で採択されたパリ協定⁷⁾における長期目標（世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2℃より十分低く保つとともに 1.5℃に抑える努力）達成のためにも、緩和策と適応策が急務となっている。

大気中の二酸化炭素を回収する方法の一つとして、樹木による光合成がある。光合成により大気中から回収した二酸化炭素は、伐採後も炭素として木材に固定されるため、木材の長期・大量使用は地球温暖化緩和策として有効⁸⁾である。

今後、木材の大量使用が見込める分野のひとつに土木分野があり、そのポテンシャルは年間 400 万 m³とされている⁹⁾。そのうち、最も多くの割合を占めるのが地中・海洋における利用（年間 150 万 m³）であり、地中では乾燥による変形や可燃性などの木材の持つ短所を無視できることから、木材の長期・大量使用が見込める軟弱地盤

対策への利用が提案されている⁸⁾。地中で木材を長期利用する際、懸念事項として腐朽がある。木材は水、空気、温度、栄養の4つの条件が適切に揃うと腐朽が進行するため、軟弱地盤対策として木材を利用するためには、地中におけるこれらの条件を明らかにする必要がある。

地中における木杭の腐朽に関する既往研究では、地下水位の影響について、遺跡調査および近代設置構造物から発掘された木材の長期耐久性評価⁹⁾や、文献調査³⁾により、木杭頭部が地下水位変動以深にあれば長期間健全性が維持され、地下水位変動域や地下水位浅であっても健全であった事例が多数あることが報告されている。

木杭周囲の地盤特性との関係については、地下水位変動以浅でも木杭が粘性土に覆われていれば腐朽に対して高い耐久性を有し¹⁾、砂質土であっても細粒分含有率15～20%程度、自然含水比20～30%の物性であれば著しく劣化しないことが確認されている¹⁰⁾。また、種々の土質による腐朽促進試験により、腐朽菌と有機質をほとんど含まない土質では、透水係数が $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 以下の土質では腐朽しないことが確認されている¹¹⁾。

建物基礎底面との関係については、中村ら¹²⁾による信濃川低地の橋台基礎における調査で、木杭頭部が地下水位以深であったため腐朽が確認されてなかったものの、基礎底盤と木杭間地盤の間に隙間が形成されることを確認し、地下水位低下が想定される地盤で杭頭部が腐朽する可能性があることを示唆している。このように、地中における木杭の腐朽について、地下水位や地盤特性との関係はある程度研究されているが、建物基礎底面との関係については未解明な部分が多い。

本研究では、これらを明らかにする目的で、約60年前に完成した同規模の隣り合った2棟のRC造4階建物の木杭基礎に対して、建物の解体撤去に伴い健全度調査を行った。なお、2棟の建物の内1棟は、建物の機能を損なわない程度であるがわずかな傾斜が生じ、もう一方は目立った変状が生じていない。

健全度調査は、建物基礎底面に位置するフーチング（以下、「フーチング」と記す。）撤去前に木杭を側面から目視観察し、フーチング撤去後に、フーチング底面や木杭間地盤を目視観察した。その後、木杭に対して目視観察およびピロディン貫入試験にて健全度の評価を行った。これらの健全度調査結果から、2棟の建物に傾斜の違いが生じた要因および傾斜のメカニズムについて考察し、建物基礎直下における木杭の腐朽に関する知見を述べる。

2. 建物および地盤の概要

(1) 建物の概要

表-1に建物の概要を示す。I棟とII棟の建物は約20m

表-1 建物の概要

項目	I 棟	II 棟
竣工	1959年	1960年
建築面積	616.0m ² (11.0m×56.0m)	616.0m ² (11.0m×56.0m)
階数	4階	4階
上部構造形式	RC	RC
基礎構造形式	杭基礎	杭基礎
杭の種類	木杭	木杭
フーチング数	45基	39基
沈下傾斜	わずか(南側)	無

離れて隣り合っており、いずれも4階建てのRC構造である。I棟は1959年、II棟は1960年に竣工し、いずれも2018年に解体撤去工事が実施された。I棟については南側にわずかな傾斜が生じていた。ただし、傾斜はわずかで、解体に至るまでの59年間通常通り供用されてきた。一方、II棟については沈下傾斜が生じておらず、58年間供用されてきた。

図-1に基礎伏図を示す。基礎形式は、基礎梁で連結されたフーチングをそれぞれ6～10本の木杭で支持する杭基礎で、基礎断面図によると木杭の直径は180mm、杭長は9.0mであった。建築面積はいずれも616m²(56.0m×11.0m)であるが、フーチングは、I棟で45基、II棟で39基で構成される。

(2) 地盤の概要

調査地点は、多摩川下流左岸の沖積低地である。この地盤に対して、図-1に示した位置で標準貫入試験と乱れの少ない試料（固定ピストン式シンウォールサンプラー：JGS 1221-2003による）を採取した。これらの地盤調査は、現基盤面からフーチング底面位置までの約2mを盤下げした地盤で実施した。本報では、特に断りのない限り、この盤下げした標高をGLと表記する。

現基盤面からGLの地盤は、建設時に造成したと考えられる埋土であり、GLは自然堆積の粘土に達している。図-2に、土質試験結果の深度分布を示す。GLからGL-9m付近まで細粒分含有率が100%近い粘土またはシルト層で、GL-9.1m以深にはN値40以上の砂礫層がある。上部の粘土またはシルト層は、GL-3.5～-6mの間で含水比と塑性指数がやや大きく、GL-6m以深ではN値がそれより浅より大きくなり、一軸圧縮強さもGL-4m付近より浅より大きくなる。圧密降伏応力は有効上載圧より大きく、地盤は過圧密状態である。木杭の先端は、GL-9.1mの砂礫層上端面の数十cm上のやや硬いシルト層付近に位置すると考えられる。地下水位は、ボーリング調査では

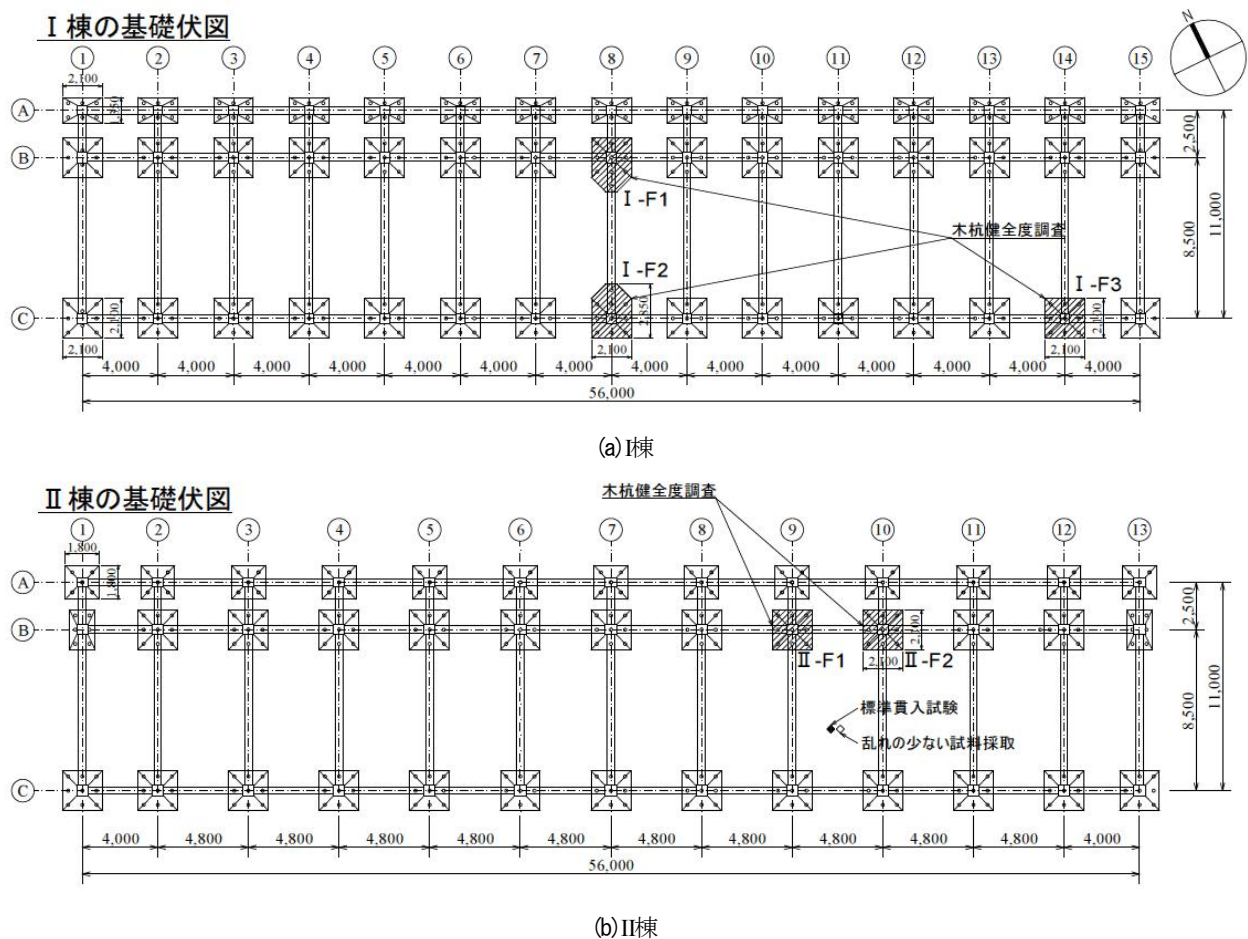


図-1 基礎伏図

GL-1.7m 付近(計測は 2019 年 1 月)であり, 調査時 GL 付近では地下水位は確認されていない. 飽和度は, GL-1.5m の粘土で $S_r=99\%$ であり, 地下水位以浅でも表層の粘土層はほぼ飽和状態であったと考えられる.

3. 調査方法

(1) 調査の概要

木杭の健全度調査は, 建物および基礎梁の解体撤去が行われた後に実施した. 調査を実施したフーチングおよび木杭は, 図-1 に示すように, I棟については, I-F1(B 通り 8 列目)と, わずかに傾斜していた南側の I-F1 (C 通り 8 列目)および I-F3(C 通り 14 列目), II棟については, II-F1(B 通り 8 列目)と, II-F2(C 通り 8 列目)である. これらの調査位置は, 調査に必要な位置を選んだのではなく, 解体撤去工事の工程に合わせて, 実施可能な位置を選定したものである.

調査は, 図-3 に示すように, フーチング, 木杭頭部, 引き抜いた木杭の順で実施した. なお, II棟については, 調査開始時点でフーチングが既に撤去されていたため, フーチングの調査を実施していない.

フーチングの周囲地盤の掘削はバックホウで GL-0.5m 程度まで行い, フーチング側面から木杭頭部までの土は

木杭を傷付けないよう人力で取り除いた. なお, I-F1 と I-F2 では, 目視観察のために木杭を洗浄しており, 表-2, 写真-1, 写真-2 に写る水は洗浄水であり地下水ではない. その後, できるだけ木杭を傷付けないようにフーチングを引上げ撤去した.

フーチング撤去後は, 木杭の頭部が地表面から 0.2m 程度突出させるように木杭間の土を人力で取り除いた. その後, 木杭頭部以深の健全度を調査する目的で各フーチングで 1~3 本の木杭を引き抜いた. なお, I棟については杭頭から約 1m をバックホウで引抜き, II棟については内径 300mm のケーシングを用い, 地盤と木杭の縁を切ることで木杭全体を引き抜いた. 引き抜いた木杭は洗浄した後寸法計測し, 速やかにラップフィルムで覆い, 運搬して試験室へ搬入した. その後, 直ちに湿潤質量 W_w を計測し, 105℃で炉乾燥させた. また, 6 時間の質量変化が 0.5%以下に収まれば全乾とみなし, この時の質量を全乾質量 W_d とし, (1)式を用いて乾燥基準含水率 M_w を求めた. なお, 乾燥質量が安定するまで約 2 週間を要した.

$$M_w = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

なお, 本報で「腐朽」とは, 腐朽菌などの存在を確認したものではなく, 目視(触診や打診を含む)による劣

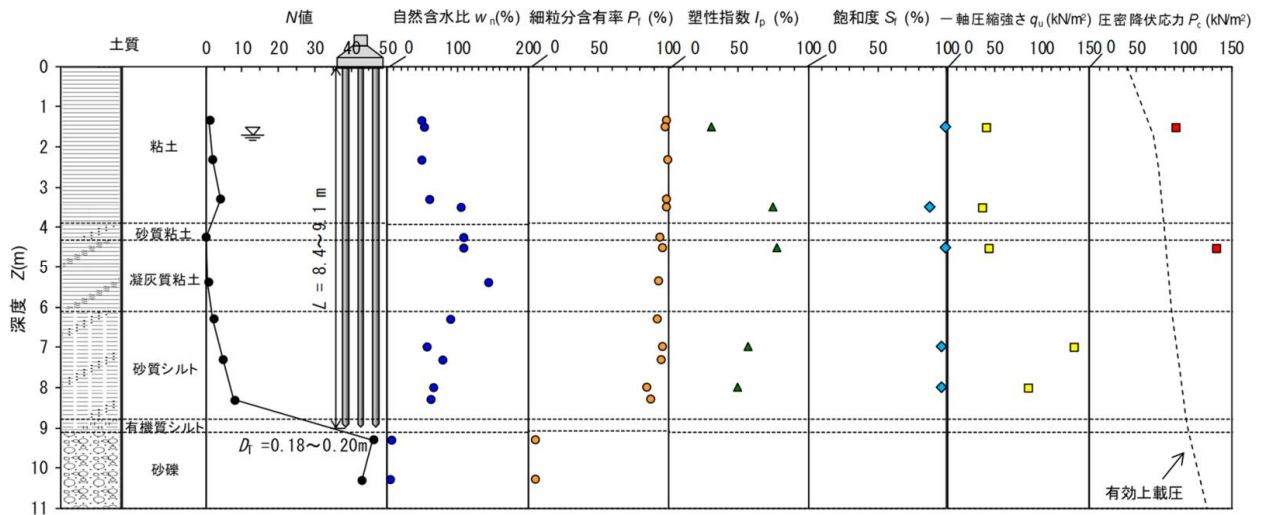


図-2 土質試験結果の深度分布

化が大きなものやピロディン貫入試験値（以下、「試験値」と記す。）が大きなものと定義した。腐朽は、直径方向または軸方向からにしても、木杭外部の空気や地盤との接触個所から進行するものと考えられることから、ここでは木杭内部からの腐朽は考えない。建設重機の接触などによっても木杭が損傷している場合もあったが、このような場合には木杭の繊維が残っており、腐朽とは区別して物理的な損傷と判断した。

(2) 目視観察

目視観察は、フーチング撤去前と撤去後に実施した。フーチング撤去前は、フーチング側面から木杭頭部とフーチングの関係、フーチング底面と地盤の有無、木杭間の地盤の色調などを観察した。フーチング撤去後は、フーチング側面から観察できなかった木杭頭部や木杭間の地盤の色調、フーチングを移動し裏返したフーチング底面を観察した。また、引き抜いた木杭についても目視観察を実施した。

なお、木杭に対しては、「地中・水中使用木材の健全性調査の手引き（案）」¹³⁾の目視による劣化評価と「木材保存則-性能基準及びその試験方法（JIS K 1571：2010）」の野外試験を参考に、目視とともに指で木杭側面を押すなどして被害度評価を実施した。目視の評価は、部分的な評価については、概ね縦4cm×横4cmの窓枠の範囲を想定したが、全体的な程度を評価する時には、縦4cm×横4cmの範囲が幾つもあるとして全般的な状況を示した。なお、木杭が激しく劣化して窓枠を描けない状態は被害度を「5」とした。

(3) ピロディン貫入試験

ピロディン貫入試験（一定のエネルギーでピンの貫入深さを測定する試験、打ち込みエネルギー6J、ピン直径2.5mm、測定限界40mm）は、フーチング撤去直後と、引き抜き直後の計2回を現地で実施した。試験は、木杭軸方向に基準線を記し、各深度ごとに基準線から0°、

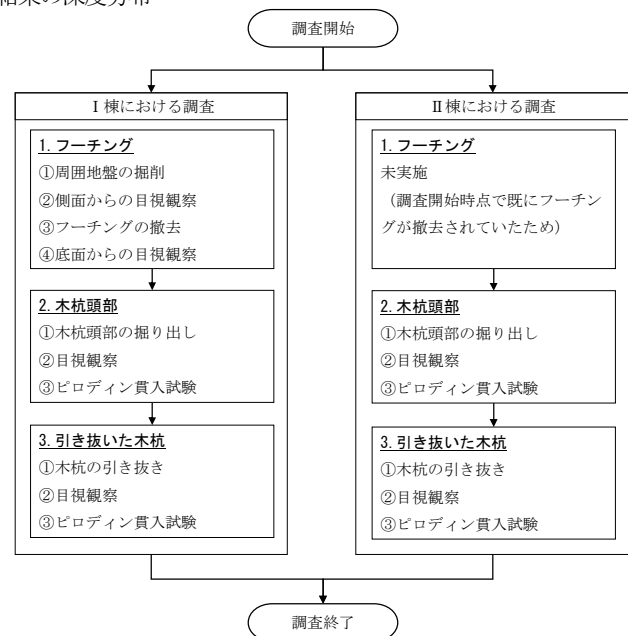


図-3 調査手順

90°、180°、270°の4方向で実施した。木杭の断面が物理的要因以外の要因で減少している場合は、その断面から試験を実施した。その後、健全な部分の断面を元の断面と仮定し、その木杭の健全な断面に鋼尺を木杭軸方向と並行に当て、鋼尺と試験実施断面までの長さを求め、この長さを試験値に加算した。なお、木杭の断面が物理的要因で損傷し、その断面から健全な部分の断面までの長さが40mm以上の場合は、その断面を評価不可とし、試験を実施していない。

また、フーチング撤去時に木杭頭部がフーチングに取り残された木杭については、目視によっても頭部が明らかに腐朽していたことに加え、健全な状態の木杭でフーチング撤去時に木杭頭部が取り残されることが認められなかったことから、フーチングに取り残された位置は全て試験値を40mm以上とした。

今回、ピロディン貫入試験を木杭掘り出し直後の現地

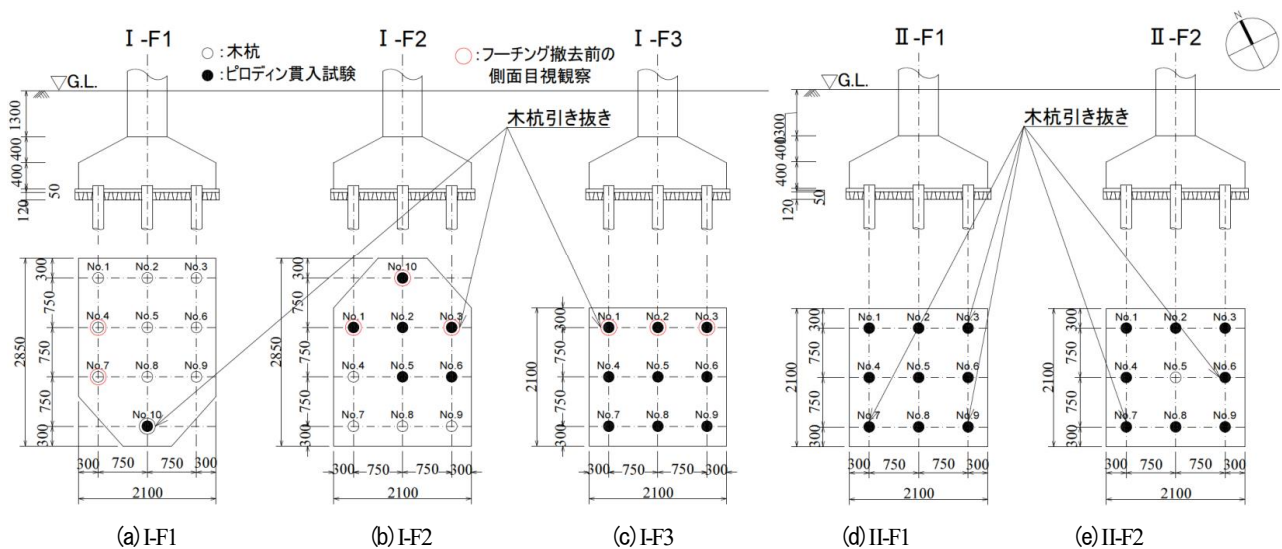


図-4 フーチング断面図および木杭健全度調査位置

で実施しており、試験時の木杭が高含水率状態であった。一般に木材の力学特性は、繊維飽和点以下(一般に、乾量基準含水率 28~30%)の含水率領域で含水率の影響を受けるが、繊維飽和点を超える領域では影響を受けるとされている¹⁴⁾。一方で、ピロディン貫入試験においては、既往の研究^{例えば 15)}より、繊維飽和点を超える高い含水率領域においても、木材の含水率が試験値へ影響を与えることが報告されており、今回の試験値が含水率の影響を受けている可能性がある。含水率が試験値へ与える影響は樹種により異なるが、本調査における木杭の樹種が不明であるため、文献 13)に示される樹種を問わず適用可能な(2)式を用いて試験値を補正した。ただし、フーチングに取り残された位置で試験値を 40mm 以上と判断したものは補正を行わず、40mm 以上のままとした。

$$P_a = P_w - C(M_w - M_a) \quad (2)$$

ここで、

P_a : 補正後のピロディン試験による試験値 (mm)

P_w : 補正前のピロディン試験による試験値 (mm)

C : 補正係数(=0.05) (mm%)

M_w : 測定時の乾燥基準含水率 (%)

M_a : 野外での一般的な乾燥基準含水率 (=30%)

4. 木杭の健全度調査結果

図-4 にフーチング断面図および木杭健全度調査位置を示す。表-2 に目視観察状況、図-5 にピロディン貫入試験結果を示す。なお、図-5 下部の表は、各木杭の試験値の凡例を示したものである。

(1) I 棟の調査結果

a) 目視による健全度調査結果

I-F1 では、建設時に造成したと考えられる埋め戻し土がフーチング底面とほぼ同じ深さまで存在し、その下位

に自然堆積したと考えられる粘性土が確認された。この粘性土の色調は、暗青灰色を示し、空気の侵入がなく還元状態であったと考えられる¹⁶⁾。これより、地下水位が浅でも飽和状態であったと考えられる。

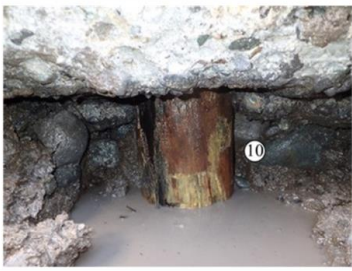
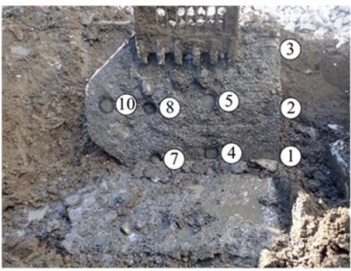
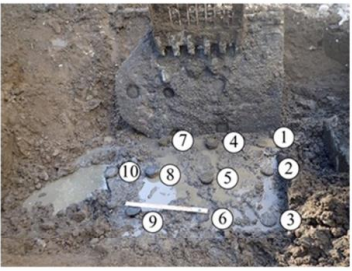
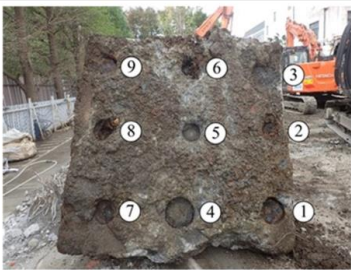
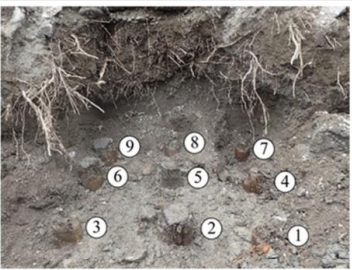
フーチング撤去前に側面から観察した木杭は健全であり、目視による被害度判定はいずれも被害度 0 であった。また、フーチング底面や木杭頭部の周囲の地盤も同様な暗青灰色を示し、フーチング撤去時にフーチングと木杭はきれいに取れた。木杭頭部および採取した木杭においても腐朽による断面減少が認められず、健全な状態であった。なお、木杭はフーチング底面に約 50mm 貫入しており、フーチング下部の地盤の上には木杭間に粒径 100~200mm の割ぐり石が敷き詰められていた。

I-F2 および I-F3 は、埋め戻し土がフーチング底面以深まで存在し、その下位に前述の粘性土が確認された。フーチング撤去前に側面から観察した木杭側面は、腐朽による断面減少が確認され、目視による被害度判定はいずれも被害度 4 程度であった。なお、ここで示す被害度 4 とは、JISK1571:2010 の野外試験とは厳密に言えば異なるかもしれないが、木杭の側面について「全面的に激しい腐朽は又はぎ害」が生じていたという意味である。また、写真-1 に示すように、I-F2 の No.3 の木杭頭部で圧壊したと思われる損傷が認められた。

木杭頭部は、フーチング撤去時に底面に取り残されボロボロな状態であり腐朽が認められた。一方で、頭部が取れた木杭の断面を観察すると、写真-2 に示すように、木杭の心材部は健全であり、腐朽が生じたのは木杭表面の辺材が主体であることが確認された。

木杭頭部が取り残された箇所のフーチング底面やその周囲の土の色調は、一部が褐色を示し、酸素と土中の鉄分による酸化が生じたと考えられる¹⁶⁾。また、フーチング底面外周でこの色調変化が顕著に認められ、空気がフーチング下部の外周から侵入し、木杭に到達したと考え

表-2 目視観察状況

フーチング名		フーチング側面	フーチング底面	木杭頭部
I 棟	I-F1			
	I-F2			
	I-F3			
II 棟	II-F1	未実施	未実施	
	II-F2	未実施	未実施	

られる。さらに、I-F2 の No.3 と No.10 の木杭間には埋め戻されたと考えられる粘性土が確認され、写真-3 に示すように、空気が侵入した跡と推察される褐色の筋が上部から植物の根のように伸びているのを確認した。一方で、I-F3 の No.5 では空気が侵入した跡が認められず、I-F1 と同様な暗青灰色を示し、木杭頭部も健全であった。このように、埋戻し土部分に腐朽が顕著に確認されることは、既往研究¹⁷⁾でも指摘されている。

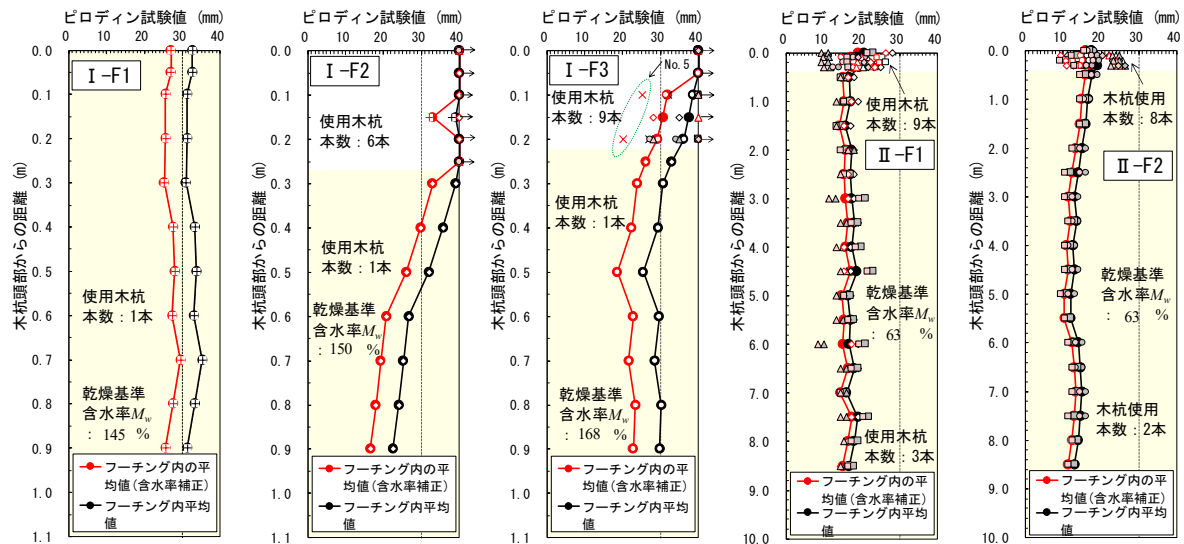
引き抜いた木杭について、I-F1 は木杭頭部を含めて極めて健全な状態で、I-F2 および I-F3 では、いずれも木杭頭部～0.3m で腐朽による断面減少が認められた。一方、

杭頭部から 0.3m 以深では健全であった。

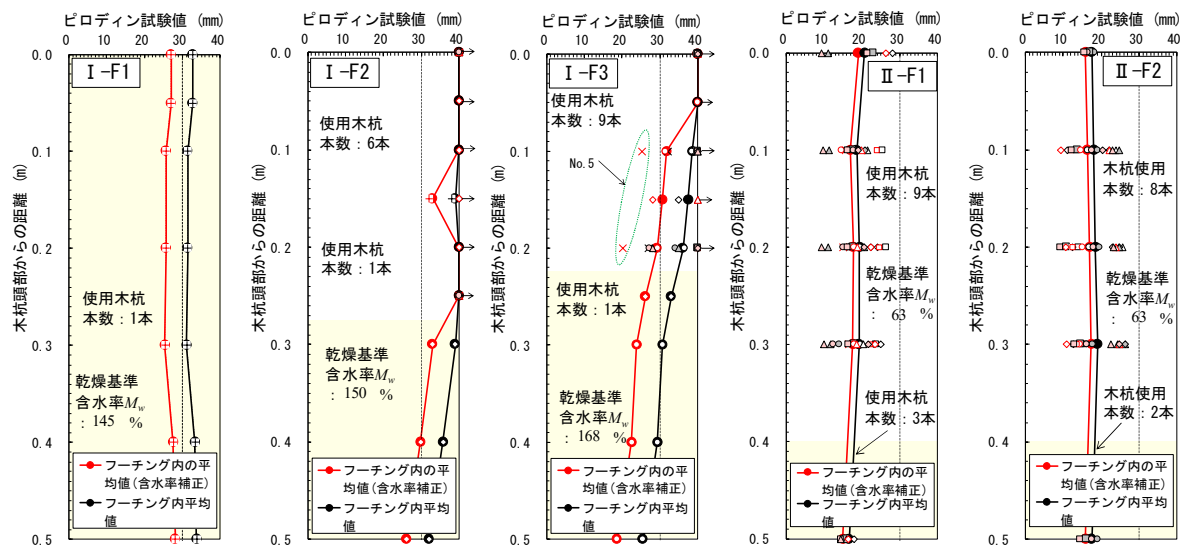
また、いずれのフーチングも、フーチング撤去前の側面からの観察で、フーチング底面と割ぐり石や木杭間地盤の間に目視で確認できるような大きな隙間は認められなかった。

b) ピロディン貫入試験による健全度調査結果

図-5 にピロディン貫入試験結果を示す。各木杭の試験値は、4 方向で得られた試験値の平均値であり、グラフのマーカーの黒色が実測した試験値で、赤色が含水率補正後の試験値である。図中、矢印は 40mm 以上と判断されるもので、各木杭の値に対して示したものである。



(a) 木杭全体



(b) 拡大：木杭頭部から0.5mの範囲

木杭No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
凡例	○	□	◇	△	×	●	■	◆	▲	+
含水率補正前	○	□	◇	△	×	●	■	◆	▲	+
含水率補正後	○	□	◇	△	×	●	■	◆	▲	+

図-5 ピロディン貫入試験結果

また、太い実線は、同一フーチング内で実施した全ての木杭の試験値を平均した値である。浅い部分の値は、フーチング撤去後に丸太頭部を掘り出しピロディン貫入試験を実施しているので木杭本数が多いが、深い部分の値は引き抜いた木杭の値なので本数が少ない。図中、黄色の網掛け部は、引き抜いた木杭に対して実施した試験範囲である。

なお、I-F1のNo.1～9については、木杭間の割ぐり石や土を人力で取り除くことが困難であったため、I-F2のNo.4については、フーチング撤去時に頭部が取れたため、No.7～9については、フーチング撤去時に周囲の土が崩れ土を取り除くことが困難であったため、試験を実施できなかった。

I-F1の木杭は、いずれの位置でも30mm以下となった。I-F2では木杭頭部～0.30m、I-F3では木杭頭部～0.15mで

測定値が30mmを超えたが、それ以深は30mm以下となった。腐朽の目安を土木用カラマツ丸太で用いられる30mm¹⁸⁾とした場合、(2)式で試験値を補正することで、目視による健全度調査結果と整合した。

(2) II棟の調査結果

a) 目視による健全度調査結果

II-F1およびII-F2の木杭頭部は、目視による被害度判定はいずれも被害度0であり健全であった。また、木杭間や周囲の地盤の色調は、暗青灰色を示し、自然堆積した粘性土であると考えられる。II-F1のNo.5やII-F2のNo.2およびII-F2のNo.5で激しい損傷が認められるが、I-F2やI-F3で見られたような木杭表面の腐朽は認められず、フーチング解体撤去時の物理的な損傷だと考えられる。

木杭を5本引き抜いた結果、末口径は183～204mm、元口径236～270mmで、杭長は8.914～9.162mの一本物で、



(a) フーチング撤去前



(b) フーチング撤去後

写真-1 木杭頭部の圧壊状況 (I-F2 の No.3)

写真-2 フーチング撤去時に頭部が取れた
木杭の断面状況 (I-F2 の No.10)写真-3 埋め戻された粘性土に発生した褐色の筋
(I-F2 の No.3 と No.10 の木杭間)

先端はペンシル状に3面に加工されていた。引き抜いた木杭はいずれの深度でも健全で、目視による被害度判定はいずれも被害度0であった。

前述のように、II棟は調査開始時点で既にフーチングが撤去されていたため、I棟のようにフーチングと木杭、地盤との関係やフーチング底面を直接観察できなかったが、フーチング撤去時に木杭頭部のみが取れたような跡が見られないこと、頭部を含めて極めて健全であること、木杭間の土の色調が暗青灰色を示した粘性土であることから、フーチング底面は、I-F1と同様な還元状態であったと考えられる。

b) ピロディン貫入試験による健全度調査結果

II-F2のNo.5については、フーチング撤去時に発生したと考えられる物理的損傷が激しく、損傷した断面から健全な部分の断面までの長さが40mm以上であったため試験を実施していない。

木杭頭部を含めていずれの深度でも試験値は30mm以下であった。木杭の全長で腐朽の目安を30mmとした場合、健全と評価され、目視による健全度調査結果と整合した。

5. 木杭の健全度と構造物の傾斜に関する考察

木杭の健全度調査の結果、I棟の北側に位置するI-F1では木杭は健全で、南側に位置するI-F2とI-F3のフーチングの木杭頭部に、腐朽および木杭頭部の圧壊が一部で確認され、I棟は腐朽や圧壊が確認された側にわずかに傾斜していた。このことから、木杭頭部の腐朽により木杭の断面減少および軟化が生じ、木杭頭部の杭1本当たりの圧縮強度が低下することで建物荷重に耐えきれなくなり、木杭頭部が圧壊して建物に傾斜が発生したと考えられる。一方で、木杭の腐朽は、木杭頭部付近と木杭の表面に限られる。このことから、木杭頭部が強度を失っても、その直下では地盤と健全な木杭心材部で相応の支持力度を有し、建物の傾斜は限定的な範囲に留まり、この状態で建物荷重を支えていたと考えられる。

フーチングの目視観察の結果、木杭に腐朽が発生したフーチングでは、埋め戻し土がフーチング底面以深まで存在し、フーチング下部や木杭間の割ぐり石、埋戻し土および埋め戻されたと考えられる乱れた粘性土に褐色の筋が確認された。このことから、埋土中の亀裂を通して

空気や場合によっては腐朽菌が侵入し、フーチングの外側からフーチング下部や割ぐり石、埋め戻された土の亀裂を通して木杭に到達し、木杭が腐朽したと考えられる。

以上のことから、木杭を長期に使用するためには、木材への空気を遮断することが重要であり、地下水位以浅であってもこのような空気の侵入を防ぐことができれば、木杭に腐朽が生じる可能性は極めて低いと考えられる。一方、フーチング底面と地盤の間に隙間があったり、埋め戻し土の締め固めを十分に実施せず亀裂や空気の通り道が形成された場合は、木杭頭部が腐朽する可能性があると言える。

6. まとめ

- 1) I棟に発生していた傾斜方向と、木杭頭部が腐朽していた位置は一致し、木杭頭部の腐朽が建物の傾斜の要因だと考えられる。一方で、この傾斜は約 60 年間通常通り供用できる程度のわずかなものであった。
- 2) 腐朽して断面減少が生じていた木杭の頭部に、圧壊したと思われる損傷が確認された。このことから、木杭頭部の腐朽により木杭の断面減少および軟化が生じ、木杭頭部の圧縮強度が低下することで木杭は建物荷重に耐えきれなくなり、頭部が圧壊して、建物に傾斜が発生したと考えられる。一方で、木杭の腐朽は、木杭頭部付近と木杭の表面に限られる。このことから、木杭頭部が強度を失っても、その直下では地盤と健全な木杭心材部で相応の支持力度を有し、建物荷重を支えていたと考えられる。
- 3) フーチング底面や木杭間の土が褐色を示した箇所の木杭は腐朽が確認された。また、空気の通り道と考えられる褐色の筋がフーチング底面や木杭間の土や割ぐり石から確認され、特にフーチング外周で顕著であった。このことから、空気がフーチング外周から侵入し、これらの隙間を伝って木杭に到達することで木杭を腐朽させたと考えられる。
- 4) フーチング底面や木杭頭部周囲の土の色調が暗青灰色を示した箇所の木杭は健全であった。このことから、木杭が周囲の地盤により空気が遮断されていれば、地下水位以浅であっても腐朽しないことが確認された。

参考文献

- 1) 土木学会木材工学特別委員会：JSCE 木材利用ライブラリー、005 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, pp.1-12, 2012.
- 2) 塩井幸武：土木(道路)における杭基礎の変化・変遷について, 土と基礎 Vol.54, No.6, pp.9-12, 2006.
- 3) 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, Vol.5, pp.305-315, 2009.

- 4) IPCC2013：IPCC 第 5 次評価報告書 第 1 作業部会報告書 原文：<http://www.climatechange2013.org/report> 政策決定者向け要約の和訳：<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/#WG1>, 2019.5 閲覧.
- 5) 外務省 HP：https://www.mofa.go.jp/mofaj/ila/et/page24_000810.html, 2019.5. 閲覧.
- 6) 土木学会木材工学委員会：土木技術者のための木材工学入門, 土木学会, pp.23-42, 2017.3.
- 7) 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会編：2009 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, 土木学会木材工学委員会, pp.63-74, 2010.
- 8) 富松義晴, 沼田淳紀, 濱田政則, 三輪滋, 本山寛：持続可能社会へ向けた土木事業における木材利用の提案, 土木学会論文集 F4, Vol.68, No.2, pp.80-91, 2012.
- 9) 中村裕昭, 濱田政則, 沼田淳紀：土木分野での木材地中利用の歴史的事例, 木材利用研究論文報告集 11, 土木学会木材工学委員会, pp.95-101, 2012.
- 10) 水野弘二, 藤原寅士良, 野澤信一郎, 水谷羊介, 砂地盤かつ地下水位以浅に位置する木杭の耐久性評価, 土木学会論文集 C(地圏工学), vol.75, No.1, pp.35-48, 2019.
- 11) 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, 木材利用研究論文報告集 11, 土木学会木材工学委員会, pp.75-80, 2012.
- 12) 中村裕昭, 沼田淳紀, 本山寛, 水谷羊介, 濱田政則：85 年前に軟弱地盤に打設された木杭の調査, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, pp.33-34, 2010.
- 13) 土木学会木材工学委員会地中使用する木材の耐久性評価に関する研究小委員会：地中・水中使用する木材の健全性調査の手引き(案), 土木学会木材工学委員会, pp.5-6, 2019.
- 14) 森林総合研究所監修：改定 4 版 木材工業ハンドブック, pp.113-114, 丸善, 2004.
- 15) 山田昌郎, 原忠, 水谷羊介, 三村佳織, 沼田淳紀, 吉田雅穂, 森満範, 末次大輔, 野田龍, 梅津啓史：木材の含水率がピロディン試験値とドライバーの貫入深さに及ぼす影響, 木材利用研究論文報告集 16, 土木学会木材工学委員会, pp.63-70, 2017.
- 16) 小野介詞：土の環境圏, pp.15-20, 株式会社フジ・テクノシステム, 1997.
- 17) 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発表講演集, pp.1791-1792, 2009.
- 18) 森満範, 宮内輝久, 杉山智昭, 前田典昭, 藤原拓哉, 今井良：北海道内で土木資材として使用されているカラマツの耐久性, 北海道立林産試験場報 Vol.20, No.1, pp.17-24, 2006.

(Received August 31, 2019)
(Accepted November 11, 2019)

INVESTIGATION OF SOUNDNESS OF WOODEN PILES USED AS FOUNDATIONS FOR 4-STORY REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

Takumi MURATA, Atsunori NUMATA, Yasushi FURUGAICHI and Yuan ZHANG

Widespread, long-term use of wood is an effective approach for mitigating global warming. In the field of construction, the use of wood as a method for strengthening and stabilizing soft ground is being studied. Durability is important for the long-term use of wood in the ground. However, the effects of factors such as foundation structure, ground characteristics, and changes in groundwater level on the deterioration of wood remain poorly understood. When two 4-story reinforced concrete buildings of nearly the same size and built approximately 60 years ago were dismantled and removed, we got an opportunity to investigate their wooden pile foundations. One of the buildings was inclined and the other was not. In this study, the factors that caused damage to the buildings are examined with respect to the soundness of the wooden piles used in their foundations. The results show that the tilted bottom of the inclined building corresponded to the position where deterioration of wooden piles was observed, and it was determined that deterioration of the head of the wooden piles caused the building to lean. In addition, it was found that wooden piles do not decay when underground conditions prevent exposure to air.