

# 故田村昌仁博士を偲ぶ

## (その6「パイルドラフト」)

(一社) 基礎構造研究会代表理事 杉村義広

小規模建築基礎設計指針に関する用語についてそろそろ終わりにしようかと思っているが、最後にもう一度深く考えてみたいことが出て来たので、それについて書いてみたい。「パイルドラフト」についてである。ただし、「パイルド・ラフト」とは区別していることに注意いただきたい。併用基礎の一種として「パイルド・ラフト基礎」と位置づけたのは2001 基礎指針〔正しくは建築学会の「建築基礎構造設計 (2001 改定版)」であるが、その時に“パイルドラフトは基礎形式というよりは、杭基礎設計上の考え方とした方がよくなるか”との感想を持っていたのである。なぜかと言えば、筆者が学生時代の講義で聴いた記憶では杭基礎の図には確かにラフトの支持力(接地圧)も一緒に示されていたし、木杭がパイルドラフトの典型的な例である〔パイルドラフトという言葉はなかったが〕との直感もあったからである〔それとともに、昔から摩擦杭と呼ばれる基礎形式もあり、それぞれパイルドラフトなのにそれと区別してパイルド・ラフト基礎と呼ぶのか、との感想も湧いてくる〕。

鋼管杭やPC 杭が開発されて深い支持層に打ち込めるようになって強大な〔というより「過大な」と言うべきかも知れないが〕先端支持力が得られるようになるとともに、周辺の軟弱地盤が沈下して杭頭が露出する事例が出るようになった。その結果、杭基礎ではラフトの接地圧は加算出来ないとの考えが広まったのが実態である〔この点は支持杭の場合と言うのが正確であり、摩擦杭は忘れられているとするのが正しい〕。

杭の歴史から考えれば、木杭や摩擦杭〔木杭はまさに摩擦杭であるとも言える〕に現れているように、「パイルドラフト」という言葉はなかったが、その考え方は古くからあって〔したがってパイルドラフトから始まっていたのであるが、いつの間にか“杭基礎ではラフトの接地圧は加算しない”との考え方が根付いてしまったということなのであろう。支持杭の場合は杭先端での支持力が重要視されるので、いわば建物重量を杭先端位置でベタ基礎として支えると仮定される構図になる〔杭は硬い支持層に打ち込まれているので先端での沈下はほとんどないと考えられる〕のに対して、摩擦杭の場合は杭先端が軟弱層にとどまっているので沈下することが前提として考えられている。したがって、ラフトの接地圧も当然発揮されることになるので、地表層がある程度の支持力は内蔵している必要がある。これに対して建物荷重をベタ基礎で支える場合に喩えてみると、当然ながら杭先端位置ではなく、それより少し浅い位置に基礎底面があがると考えなければならない。建築学会建築基礎構造設計規準・同解説 1974 では、26 条解説で杭先端から杭長の 1/3 の位置とすることが示されている。杭の周面摩擦力が深さに対して一定と仮定すれば支持力〔建物を支えているので荷重とも言える〕は深さ方向に三角形分布で増大して杭先端で最大となり、それが建物荷重と等しくなると沈下も終わるという構図が考えられる。したがって、その最大となった支持力の重心位置でベタ基礎として支えている状態が想定できるので、杭先端から杭長の 1/3 の位置をベタ基礎底面として、それ以深の層の圧密沈下を算定すれば建物の沈下量が求められるとするものである。これは単純でかつ大胆な仮定ではあるが、それこそがパイルドラフトの考え方ではないかということになる。

2001 基礎指針がパイルド・ラフト基礎と呼んで併用基礎に分類したことが“新たな基礎形式”であるとの誤解を、とくに若い人々に根付かせてしまったのではないか、との懸念を筆者は持っている。そうではなくて、パイルドラフトの考え方は杭基礎〔そのうちとくに摩擦杭として〕の当初から始まっていたのであり、沈下の検討をさらに深めて再整理したのがパイルド・ラフトであると筆者は解釈しているのである。すなわち、杭工法の進展に伴って、硬い支持層に深く打ち込める支持杭が出現したことで〔一種の“先端支持力重視神話”となって〕軟弱地盤では杭頭が露出する逆効果の事例が現出することになった。その反省として、杭とラフトの支持力の分担割合を再考する研究がなされ、その結果がパイルド・ラフトであるということである。それを2001 基礎指針は基礎形式の一種と定義するまでになったが、そのように扱うよりは“設計上の考え方”と受けて止めた方が分かりやすいということでもある。

以下、歴史的な流れを知るために「造家必携」の木杭の項目の主要な部分を読んでみたい。造家必携〔国会図書館デジタルコレクションで参照できる〕は、ジョサイヤ・コンドル口述、松田周次、曾禰達蔵筆記として残されており、おそらくコンドルは平易な英語で話していたと想像されるが、書き物となると当時の文章は旧漢字、カタカナ書きで堅苦しく読むのに苦勞する。したがって、以下では現代調に直して意識してみる。

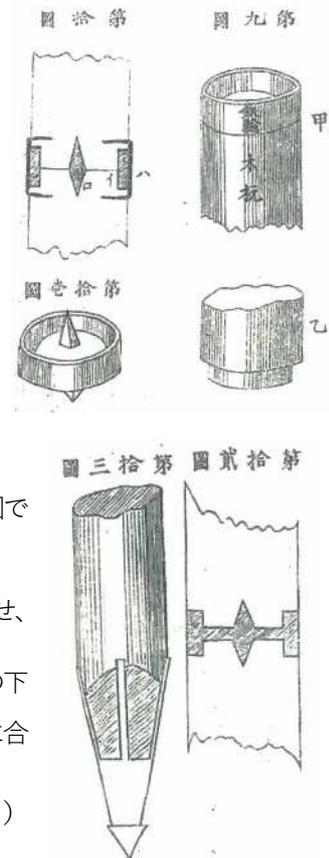
### 造家必携における木杭の記述

通常、杭に用いる木杭は丸太でも角物〔角材〕でもよい。その負担すべき荷重から算出すれば、幅は長さの1/24より小さくしないこと。例えば長さ24尺〔7.3m〕とすれば、その木口は1尺〔30.3cm〕平方以上とする必要がある。ただし、どれほど短い時でも幅は4寸〔12.1cm〕以下としてはならない。また、その適切な長さは土の深浅によって定めるのであるが、もし、その必要な長さの杭が得難いときは、繋ぎあわせて打つべきである。その方法は、先ず下杭を撃ち、その杭頭と上

杭の末口〔底面〕を繋ぎ合わせ、さらに鉄輪を嵌〔は〕めて一体として打撃する。図で

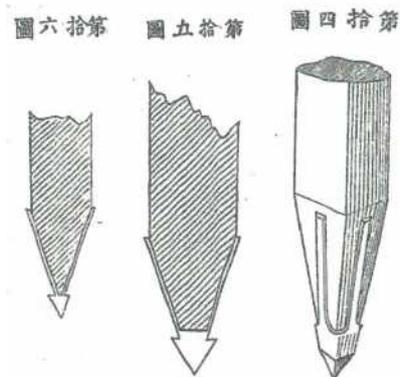
詳細を説明すると、先ず下杭の上端を平坦にして、周辺の幅を鉄輪の厚さに合わせ、高さを鉄輪の高さの半分に削り取り、鉄輪を掛ける〔第9図の甲〕。さらに上杭の下端を同じように造り〔第9図の乙〕、小さな「ダボ木」を切り込んで両端を正確に合

わせて滑落を防ぎ、最後に大銚を打つ〔第10図参照〕。すなわち、断面図で〔イ〕は鉄輪、〔ロ〕はダボ、〔ハ〕は銚である。また、鉄輪の表面と上下の杭面はピッタリ合わせることに注意。



以上は通常の錐量を用いる時の接ぎ方であるけれども、その量重大なる時は、二つの杭の間に第11図のごとき鉄輪と「ダボ」とを一体に造り出した鉄板を入れ、第12図のように接ぐことがある。とにかく、接杭には合決ツギグヒ アイジャクリ（半分厚同士で継ぎ合わせる方法）等のごとき接ぎ方はしてはいけない。打撃の際に杭材の罅裂フレサケを生ずると、継ぎ面が外へ飛び出す恐れがあるからである。

杭頭は常に鉄輪を嵌（は）めてその罅裂を防ぎ、杭尾（杭先端）は極めて粗雑な工事以外は必ず尖らし、第13図及び第14図のごとき鉄沓カオクツを嵌めて鉄止めにする。ただし、沓内の底は第15図のように平坦にして杭尾の平坦を受けるようにする。そうせず第16図のように沓底（底部）を鋭角としてとがらすと、あたかも楔クサヒの作用を生じて鉄を裂き、沓を曲げて傷つけることになる。

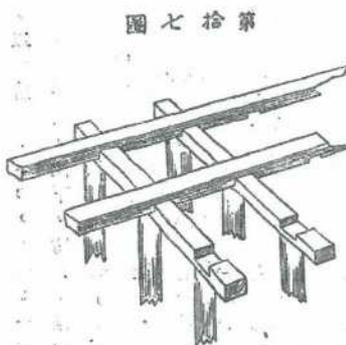


上記鉄沓の役割は三点ある。杭脚の罅裂を防ぐのが一つ。地中を容易に貫通し、石のかたまりを排除するのが二つ目。硬い層に突き入り、確乎とする利点が三つ目である。しかし、地質が軟弱で、かつ下層に硬い基盤がない場合の杭打ちには、ただ圧搾することになるので鉄沓を付さないことでもよい。

以上が、造家必携の木杭の主要点であるが、注目されるのは幅が通常は30cm程度、小さくても12cmは確保すること、長さは7m程度、継ぎ杭とした場合でも14m程度で長い杭とは言えず、先端は地中に打ち込み込みやすく尖った形状とするのが普通であるという点であり、大きな先端支持力は期待できないので摩擦杭としての機能が実態であると考えられる。軟弱な地層の場合は先端を尖らせないこともあるが、その場合も先端支持力は大きなものとはならないことが容易に想像できる。これらのことから木杭は支持杭よりは摩擦杭としての性格が強いことが理解できる。

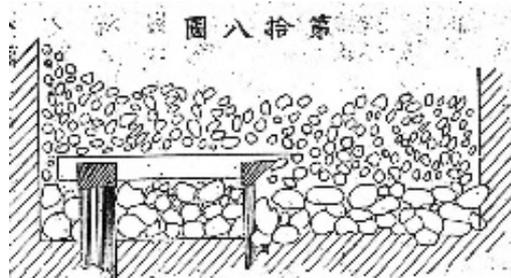
これに続いて造家必携は杭頭処理についても述べているので、もう少し読み進んでみる。

杭の打撃後、杭頭を切りそろえ、およそ1、2尺（30～60cm）の深さの土を掘り、割栗石などの堅固な材料を巻き込むか、コンクリートを打つのが通常である。また、木材を一行杭頭に配列し、あるいは第17図のように格子状に組み合わせ、鋸あるいはボルトで杭頭に取り付け、捨すて（すて：当時の木造では土中に埋め込んだ土台をこのように呼んでいる）とする。これは杭の動きを止め、不同沈下を防ぐ方法である。



従来、厚板を敷いて算盤そろばん（杭上の横木）とし、捨を覆う慣習があるが、板は耐久性があるわけではないので全基礎を害することがある。したがって、この方法を用いない方がよい。

杭頭まわりの最適な施工法は、まず堅固な材料を杭間に巻き入れ、根切り底より杭の上端まで充たして杭を包み、コンクリートを打って捨を左右と上から囲む（第18図）。このようにすれば、



たとえ後年捨は腐朽して存在しなくなっても、杭間の填物もすでに十分圧縮しているのでコンクリートは下がることでその底と填物の間に隙間は残らないだろう【このコンクリートは今日で言うパイルキャップというよりはベタ基礎に近いし、杭の支持力とともにラフトの接地圧も期待していることが理解出来よう】。

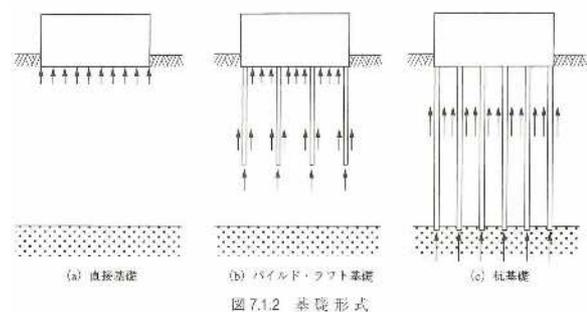
以上、木杭とその杭頭処理についての記述を合わせて読んでみれば、“木杭はパイルドラフトの典型例である”との筆者の感想に結びついていることが理解してもらえよう。

### 小規模建築物におけるパイルドラフト

そろそろ結論に進もう。2001 基礎指針では「7.3 パイルド・ラフト基礎」の解説「1. 一般事項」の冒頭で「杭基礎の設計では、基礎スラブ底面の地盤の抵抗力を無視するのが原則であるが、…」と記されている。この文章は、パイルド・ラフト基礎を際立たせるために無理に付け加えたものとの印象がある。「無視するのが原則」は言い過ぎの感があり、あるいは、支持杭の場合だけを考へての表現と言い換えてもよいが、摩擦杭は無視されており、杭基礎全体を指している文章とは言えない。

「ラフトの支持力を主体とし、沈下対策のために杭を併用する」との表現がパイルド・ラフト基礎の定義として言われることもしばしばである。この表現も摩擦杭を忘れた文章であり、摩擦杭を否定するののかとの疑問が生じる。上記したように、歴史的には摩擦杭はパイルドラフトとして進展して来ているので、むしろパイルドラフトの典型例であるとする方が正当なのではないか？ 少なくとも、新しいパイルドラフトの考え方に従えば、従来の摩擦杭形式より杭本数を少なく出来る可能性がある、といった表現であれば受け入れることが出来るのであるが…。

近畿支部のオンライン討議で「ではパイルドラフトはどうなりますか」と不意に聞かれた時に、2001 基礎指針を思い浮かべていたので、思わず“パイルド・ラフト基礎は小規模建築を対象として提案されたものではない”と答えてしまったが、“小規模建築では木杭とか小口径の鋼管杭を使うので〔摩擦杭として機能するであろうから〕まさにパイルドラフトである”と言った方が正確であったかと思返している。その意味から言えば、2001 基礎指針の図 7.3.1 [2019 基礎指針では図 7.1.2 に引き継がれ



ている) は b) パイルド・ラフト基礎、c) 杭基礎となっているが、筆者には〔学生時代に見た図が根強く残っているために〕 b) が摩擦杭基礎、c) が支持杭基礎と見えてならない。繰り返すが、摩擦杭基礎とパイルド・ラフト基礎は基礎形式としては区別が難しいほど似ている〔むしろ同じである〕と言ってよい。設計の考え方として、摩擦杭基礎は上記したように杭先端から 1/3 上がった位置でベタ基礎の底面として以深の圧密沈下量を算定する簡便法が使われるのに対して、パイルド・ラフト基礎は最新の沈下解析を用いるという違いがあるだけであると考へても間違いのないのではないか？

最後に、小規模建築基礎の杭頭処理について補足しておきたい。最近の傾向として杭基礎の杭頭接合部はパイルキャップと呼ぶことが流行のようになってきているかのようである〔すなわち一柱一杭方式に代表されるように…。群杭の場合も柱下に集中させてパイルキャップ方式を採用するのは支持杭の場合であって、摩擦杭の場合はベタ基礎などとし、建物底面全体にわたって満遍なく配置するのが適切と言える〕。それ故、小規模建築の場合はパイルキャップ方式ではなく、ベタ基礎形式である方が望ましいことになる。パイルキャップ方式は柱下に杭を集中させて建物の荷重を持たせる支持杭基礎の形式になるのに対して、ラフトの接地圧を発揮するためにはベタ基礎形式の方が建物底

面全体にわたるのでより有効だからである。さらに、予定されている小規模建築物基礎設計指針改定版では、杭頭は基礎スラブに呑み込ませない場合、すなわち、杭は使うがその上に上部構造を単に載せるだけの基礎形式の場合を、いわばベタ基礎のような直接基礎として扱うという意思表示をしている。杭頭を基礎スラブに呑み込ませる形式は杭基礎となるので、基礎設計指針を参照との立場を取り、改定版では杭基礎ではないとするのである。杭頭を基礎スラブに繋げないことで地震時の上部構造の慣性力は杭には伝わらない〔したがって、杭の水平抵抗などは検討する必要はない〕とすることを根拠にして、直接基礎〔ベタ基礎とする場合が多いと思われる〕としての支持力だけ検討すればよいとの考え方である。ただ、使う杭が小口径で杭長もそれほど大きくないとはいえ、ラフトの接地圧と比べてかなり大きい場合が多くなるであろうから、基礎スラブ全体にわたって平均的な反力分布とするためには杭本数との関係なども含めて慎重な検討が求められると思われる。