

## 13. 杭基礎工法の最近10年の動向

お ぐら ひと し  
小 椋 仁 志

ジャパンパイル㈱ 執行役員・技術本部長

### 1. はじめに

学会誌「土と基礎」1999年11月号の「地盤工学50年の歩みと展望」に、岡原美知夫氏（当時建設省土木研究所）が橋梁基礎を中心に構造物の基礎について述べられている。その後の10年の間に、基礎工法は何が変わったか。本報では変わった点を中心に杭基礎工法とその周辺技術について、最近10年間の動向を見渡したい。

なお、本報で述べる大半の杭基礎工法の具体的な工法名、施工概要・手順、支持力式等については、(株)日本建築構造技術者協会（JSCA）のホームページ（<http://www.jsca.or.jp/>）にまとめられているので参考にしていただきたい（JSCA→アーカイブス→技術関連資料・杭基礎工法のデータ集2008年作成）。

### 2. 打込み工法・圧入工法

#### a. 打撃工法

1960年代に騒音規制法と振動規制法が施行されて以来、打撃工法は減少の一途をたどっており、今では山間部や埋立地造成後初期工事等に限られるようになった。最近では、羽田空港D滑走路工事で、1000本以上の鋼管杭が油圧ハンマーによって打ち込まれている。

#### b. バイプロハンマー工法

従来、主として鋼矢板など仮設材の設置に用いられていたバイプロハンマー工法を、騒音の緩和を目的に鋼管杭の施工にも用いることが土木分野を中心に増えている。道路橋示方書には、2002年の改訂で新しい杭工法の一つとして加わった。規定されている支持力算定式は、打込み工法とほぼ同じ式となっている。

#### c. 回転貫入鋼管杭工法

先端付近に取り付けた羽根によって鋼管杭を回転して貫入（圧入）する工法が、ここ10年で急増している。当初は本体径がφ150 mm程度の戸建て住宅専用の小径杭として開発された。今では、φ300 mm程度以下の小規模建築用の杭と、φ500 mm以上で最大径がφ1200 mm、羽根径φ2400 mmに達する大規模建築物用に2極化している。後者は、土木構造物にも多く用いられている。

回転貫入鋼管杭は、騒音や振動を発生することなく杭を打設できるのに加え、排土をほとんど出さない、地下水に影響されない、杭先端が支持層に到達したことを確認しやすいなどの利点がある。

なお、この工法による施工とは限らないが、最近では斜

杭として用いられることが増える傾向にある。

### 3. 埋込み工法

#### a. プレボーリング根固め工法

掘削した地盤と注入したセメントミルクとを混合攪拌した後、既製杭を建て込むプレボーリング工法は、建築分野で多く用いられている。市街地では施工できなくなった打込み工法に代わるものとして、1960年代に関西で開発されたもので、当初は掘削土をすべて排土するセメントミルク工法であった。1971年告示111号では先端支持力  $R_p = \alpha N A_p$  の係数  $\alpha$  として約 200 kN/m<sup>2</sup> が与えられている（ $N$ ：先端平均  $N$  値、 $A_p$ ：先端断面積）

最近10年はストレート杭に対してこの工法を用いることはほとんど無くなったが、節杭に対しては大臣認定の対象となっていることから、多くの工法が開発され実用化されている。摩擦杭として用いることが多いため、 $\alpha$  は約 150 kN/m<sup>2</sup> 程度に押さえられているが、周面摩擦力は告示の式よりも大きな値が認められている。

#### b. プレボーリング拡大根固め工法

プレボーリング拡大根固め工法は、先端支持力の増大を目的に先端付近を拡大掘削・根固めする工法であって、多くの工法が開発されており、建築分野では既製杭工法の主流となっている。大臣認定によって  $\alpha$  を約 250 kN/m<sup>2</sup> とすることが認められ、広く用いられている。

土木分野では、道路橋示方書の2002年の改訂で、この工法のうち一定の条件を満たしたものについて支持力算定式が初めて示され、採用できる環境となった。

建築分野で最近10年間の動きとして特筆されるのは、拡大掘削時の拡大径を杭径の1.4倍以上に大きくすることによって、 $\alpha$  が 400 kN/m<sup>2</sup> を超えるような、いわゆる高支持力工法の出現である。この工法ではコスト削減に直結する1本の柱を1本の杭で支持する方式が既製杭でも可能になることなどから、急速に普及した。なお、 $\alpha$  は 400 kN/m<sup>2</sup> 以上であるが、これは掘削底面積が大きいことに加えて、先端支持力を根固め部上端で評価していること、建築基準法の関係で支持力計算時に掘削径でなく杭径を用いていることが大きく影響している。杭先端部の軸力を掘削底面積で除すと 150～250 kN/m<sup>2</sup> となり、プレボーリング根固め工法の  $\alpha = 200$  kN/m<sup>2</sup> とほぼ同じ値となる。なお、高支持力工法では、支持力が大きいことから、施工・品質管理が重要なテーマになっている。

高支持力工法には、鋼管杭を用いるものもあるが、多くは既製コンクリート杭を用いている。支持力の増大に対応するため、コンクリート強度が 80～85 N/mm<sup>2</sup> のPHC杭に加えて、100～105 N/mm<sup>2</sup> や 123 N/mm<sup>2</sup> のPHC杭も製造されるようになっている。また、杭径も大径化が進んでおり、φ1000～φ1200 mmのPHC杭やPRC杭、SC杭が増えている。

#### c. 鋼管ソイルセメント杭工法

ソイルセメント柱とリブ付き鋼管杭から構成される鋼管ソイルセメント杭工法は、プレボーリング工法のような

にソイルセメント柱築造後に杭を建て込む後沈設方式と、中掘り工法のように築造時に杭を建て込む同時沈設方式がある。2002年の道路橋示方書に支持力算定式が明示され、主に土木分野で使われている。算定式は、杭ではなくソイルセメント柱の断面積や周長を用いているのが特徴である。最近10年間に実用化され、大きく普及した工法である。

#### d. 中掘り拡大根固め工法

中掘り工法は、長尺杭の施工に適しており、プレボーリング工法に比べて排土量が少ないのが特徴である。反面、杭周面摩擦力が小さいのが欠点となる。

先端部を拡大しない一般的な中掘り根固め工法はあまり使われなくなっており、大半は先端部を拡大掘削した中掘り拡大根固め工法に代っている。土木分野では、既製杭工法の主流となっている。建築分野では、プレボーリング工法と同じように、最近10年は拡大径の増大による高支持力化が進んでいる。拡大倍率の制約から $\alpha$ はプレボーリング工法よりも小さいが、 $\alpha \geq 360 \text{ kN/m}^2$ の中掘り工法がいくつか開発され、広く使われるようになっていく。

#### 4. マイクロパイル

マイクロパイルとは径が300 mm以下の小口径杭の総称であって、ここ10年くらいの間に実用化された。主に土木分野で用いられており、地盤の補強や既設構造物の基礎補強などに適用されている。施工法には、小径の鋼管杭を回転圧入する工法、掘削孔に異形棒鋼や鋼管を芯材として挿入した後グラウト注入を行う工法などがある。後者には、グラウンドアンカー工法を取り入れてグラウトを加圧注入し、杭体には異形棒鋼と高強度鋼管を用いた高耐力マイクロパイルがある。

#### 5. 場所打ちコンクリート杭工法

場所打ちコンクリート杭工法は、杭基礎工法の主流として古くから広く用いられてきた。掘削方法は、土木分野はオールケーシング工法が、建築分野はアースドリル工法が大半となっている。10年くらい前まではリーバースサーキュレーション工法も両分野で用いられていたが、今ではほとんど姿を消している。

建築分野では、鉛直支持力を増大するため、先端部を拡大した拡底杭を用いることが多い。拡底杭は、長い間、拡底部の傾斜角が12度で、拡底率3.2倍（面積比）・最大径4100 mm・コンクリート強度 $F_c = 32 \text{ N/mm}^2$ が最大限となっていたが、最近では、これを超える拡底杭が出現している。また、引抜き抵抗を大きくするため、先端部だけでなく、節杭のように軸部にも拡大部を設けた場所打ち杭も開発されている。さらに、水平耐力を増大するために、杭頭部分の径を拡大した拡頭杭や、杭頭部分の外周に鋼管を用いた場所打ち鋼管コンクリート杭を用いることが多くなっている。

土木分野では、一般的な場所打ち杭（杭頭から先端まで同径）が原則であり、オールケーシング工法で掘削されることが多い。ただし、最近10年間では、主に鉄道構造物に対しては、安定液の品質などを向上させたアースドリル工法が用いられることもある。また、ジャッキやセメントミルクの加圧注入などによって、杭先端地盤にプレロードをかけて締め固める工法も開発されている。

#### 6. 杭頭接合法・機械式継手

杭とフーチング（パイルキャップ）の接合は剛結するのが原則である。既製杭の場合、中詰め筋+中詰めコンクリートによる接合法が多かったが、ここ10年間は杭端板にスタッド溶接やネジ止めにより鉄筋を取り付ける方法が主流になっている。鋼管杭、SC杭、場所打ち鋼管コンクリート杭では、鉄筋を杭周部にフレア溶接することが多いが、土木分野では溶接品質に問題が残ることから原則として禁止された。

杭頭を剛結すると杭頭部に作用する曲げモーメントが非常に大きくなり、地震時に杭頭部で壊れる被害が頻発した。この反省から、杭頭の固定度を小さくする半固定の接合法が、ここ10年間の間に建築分野を中心に多く開発され、実用化されている。

既製杭同士の継手は溶接が主流であるが、最近10年は現場溶接を必要としない機械式継手が増加している。機械式継手は、雨天でも施工ができる、溶接よりも施工時間が短縮できる等の利点がある。既製コンクリート杭に用いる機械式継手は建築分野の、鋼管杭に用いる機械式継手は土木分野の認証を取得している。

#### 7. 品質管理技術

支持力が増大したこともあって、杭の品質管理技術もここ10年間に進歩している。以前からの小ハンマーの打撃による健全性試験や孔壁の超音波測定などに加えて、杭の中空部に超音波を発信するソナーを挿入して先端部の形状を推測することや、プレボーリング工法では杭建込み前に根固め液を採取することも行われている。

杭の品質管理方法として最も確実な載荷試験は、2002年の地盤工学会基準の改定で、従来の押込み試験に加えて反力杭の不要な先端載荷試験、急速載荷試験および衝撃載荷試験が基準化されて、多く用いられるようになってきた。また、引抜き試験基準も同時に改定され、加えて鉛直交番載荷試験も基準化された。水平載荷試験基準は、現在改定作業中である。

#### 8. おわりに

以上、本報では杭基礎工法の最近10年間の動向の概要を述べた。毎年の地盤工学研究発表会などでは、新しいアイデアがいろいろ発表されている。10年後にはどのような杭基礎工法が実用化されているか楽しみである。

(原稿受理 2009.10.26)