

# 杭基礎の変遷 Transition of Pile Foundation

清 広歳 Hirotooshi Sei  
宮崎祐助 Yusuke Miyazaki

## 1. まえがき

杭基礎に支持される既存建物の耐震診断を行う際、杭基礎の詳細が設計図書に記されておらず、診断に支障をきたすことが多い。杭基礎は、上部構造直下の地中にあるため、掘削して目視するにも多大な労力と費用を必要とし、上部構造に比べて耐震診断のための調査は難しい。

そこで、建物の建設年代によって、杭基礎の状態が、ある程度推定できるように、建物基礎に多用された既製コンクリート杭、場所打ちコンクリート杭、鋼管杭について、各年代での利用状況、施工法、継手、および杭頭接合法の変遷について調査し、技術資料としてまとめた。

## 2. 既製コンクリート杭

Table 1 に既製コンクリート杭の杭種開発の変遷を、Fig. 1 に各種既製コンクリート杭の需要(生産量)の推移を示す。我が国初の既製コンクリート杭は、明治43年に使用された現場締固めの角杭であり、その後昭和9年から、遠心力を利用してコンクリートを均等で密実に締固め中空円筒形とした遠心カコンクリート杭(RC杭)が使用されるようになった。昭和30年代後半には打込み時などの引張応力に対抗するためプレストレスを導入したPC杭が、昭和40年代前半にはより大きい鉛直荷重を支えるため高強度コンクリートを用いたPHC杭が、昭和40年代後半には地震時水平力による曲げに対抗するためSC杭が開発された。

Table 1 には、既製コンクリート杭の施工法も示している。昭和26年に、操作が簡単で打撃力が大きいディーゼルハンマーが我が国に輸入され、ボイラーの温度上昇に時間のかかるスチームハンマーに替り、以降全盛期となった。やがて、建設工事ともなう騒音、振動などが大きな社会問題になり、改善、対策工法として昭和35年頃から中堀工法、セメントミルク工法に代表される埋込み杭工法がしだいに開発・普及していった。

既製コンクリート杭の継手の変遷をTable 2に示す。杭の継手は、鉛直荷重のみを伝達すればよいという観点から、昭和30年頃まではほぞ式が用いられてきた。その後、杭打込み時の破損対策という点から、一体性を高めた充填式の継手が用いられるようになり、さらに昭和36年にボルト式継手が考案され、これにわずかに遅れて曲げモーメントに強い溶接継手が鋼杭の影響を受けて導入された。

杭頭接合部については、日本建築学会「建築基礎構造設計規準・同解説」(以下「基礎構造規準」と略記)を見ると、昭和35年版に、杭に引拔力が働かない設計例として、杭(松杭)を基礎スラブに埋込まず杭の頭上に基礎スラブを打設している例が、また杭に引拔力が働く設計例として、

Table 1 既製コンクリート杭の杭種および施工法の変遷<sup>1)</sup>  
Transition of Types and Execution Methods of Precast Reinforced Concrete Pile

年次	昭和		昭和			
	10 (1935)		30 (1955)	40 (1965)	50 (1975)	60
杭の種類		第二次世界大戦・復興準備期	遠心カコンクリート杭(RC杭) PC杭 PHC杭 SC杭			
施工方法			ディーゼルハンマー輸入		ディーゼルハンマー防音カバーの開発 油圧ハンマー実用化(低騒音化)	
				中堀工法開発		セメントミルク工法の施工が始まる

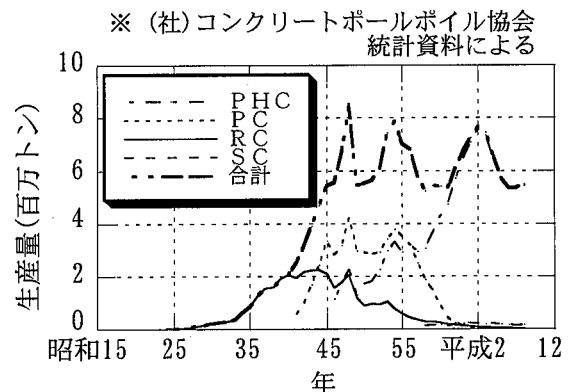


Fig. 1 既製コンクリート杭の需要の推移  
Transition of Demand for Precast Reinforced Concrete Pile

Table 2 既製コンクリート杭の継手の変遷<sup>1)</sup>  
Transition of Joint for Precast Reinforced Concrete Pile

継手種類	ほぞ式	充填式	ボルト式	溶接式
使用年代	昭. 10~35年	昭. 20~40年	昭. 36~40年	昭. 38年以降
使用杭種	RC杭	RC杭	RC杭	全杭種
構造	外バンド 上杭 下杭 ほぞ用軸筋	上杭 下杭 仕切り盤 挿入筋 露出筋	軸方向鉄筋 継手金具 ボルト	(a) 端板式 上杭 下杭 継手定着縦筋 PC鋼材 縦筋 補強バンド 溶接部 (b) 円筒式 上杭 下杭 嵌当金 現場溶接 用心筋

杭(コンクリート杭)の鉄筋を基礎スラブにアンカーする例 (Fig. 2, 具体的な配筋については記されていない) が示されており、当時の杭頭接合部の状態がわかる。昭和41年出版のコンクリートポールパイル協会「コンクリートパイルハンドブック」に、杭頭を基礎スラブに固定する場合の例 (Fig. 3) が示されており、このような設計も行われていたことがわかる。昭和49年版「基礎構造規準」では、基礎スラブへの杭の埋込み長さ、鉄筋によるアンカーなどを設計条件に適合させるようにとの記述があり、さらに処理法が日本建築学会「建築鋼ぐい基礎設計施工規準・同解説」(昭和38年、以下「鋼ぐい基礎規準」と略記)に示されているとしている。「鋼ぐい基礎規準」の処理法については、4. 鋼管杭で示す。さらに、昭和63年版「基礎構造規準」(規準から指針に改名)では、杭頭接合部について、設計上の扱い・一般的な接合方法・各種接合方法の固定度について記し、設計法について詳述している。なお、JASS4(地業および基礎スラブ工事、昭和28年～)には、具体的な記述は見られなかった。

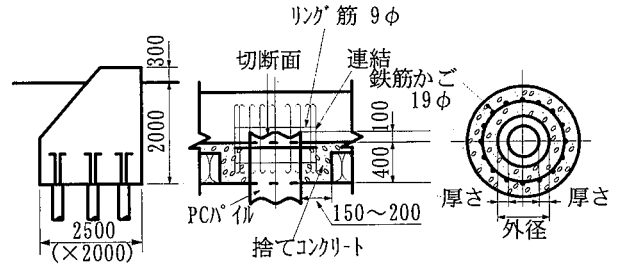


Fig. 2 杭に引抜力が働く場合の設計例  
An Example of Pile Head Joint for Pulling Force Acting Pile

Fig. 3 基礎スラブに杭頭を固定とする例  
An Example of Fixed Condition Joint for Pile Head

### 3. 場所打ちコンクリート杭

Table 3に、場所打ち杭の変遷を示した。明治42年に我が国初の場所打ち杭であるコンプレッソル杭が、ビルの基礎に使用された。ついで、大正時代にペDESTAL杭が、昭和初期にフランキー杭が導入されたが、ペDESTAL杭以外は、昭和初期までに姿を消した。打込み杭であるペDESTAL杭も、騒音・振動の問題から、昭和30年代半ば頃から利用が減少し、これに替って、プレバクト杭、オールケーシング(ペント)杭などの掘削方式の杭が外国から導入され、現在に至っている。

杭頭接合部に関しては、「基礎構造規準」の昭和35～63年版に既製コンクリート杭の所で記したことが示されているが、場所打ちコンクリート杭のみを対象とした記述は、昭和63年版「基礎構造規準」に、一般的接合法として、杭頭を基礎スラブに10cm程度埋込む、杭の主筋を基礎スラブに定着するが記されているのみであった。したがって、場所打ちコンクリート杭の杭頭接合については、その方法および実施時期など他の杭に準じて行われていたものと推測される。

### 4. 鋼管杭

Fig. 4に鋼管杭の需要(受注量)の推移を示す。鋼管杭が我が国で用いられ始めたのは、昭和30年代後半からである。鋼管杭は、大きい鉛直支持力が期待でき、継杭(溶接)が容易で継手の信頼性も高いことなどから、急激に利用されるようになった。しかしながら、市街地の工事では騒音・振動が大きい問題となり、昭和50年以降打込み工法を主流とする鋼管杭は減少していった。その後、騒音・振動対策に関する研究が進められ、中掘工法や防音カバー工法なども開発されている。

鋼管杭の継手に関しては、「鋼ぐい基礎規準」(昭和38年)

Table 3 場所打ち杭の変遷  
Transition of Cast-in-place Concrete Pile

年次	昭和		昭和			平成
	15/1 (1926)	10	第二 次世界 大戦・ 復興 準備期	30 (1955)	40	50 元 (1989)
ペDESTAL杭						
フランキー杭						
プレバクト杭						
深礎						
オールケーシング杭 (ペント杭)						
アースドリル杭						
リバースサキュレーション ドリル杭						
B H 杭						
拡張杭						
リバース式						
アースドリル式						
場所打鋼管コンクリート杭						
地中連続壁杭						

※ 大洋基礎株式会社技術部資料

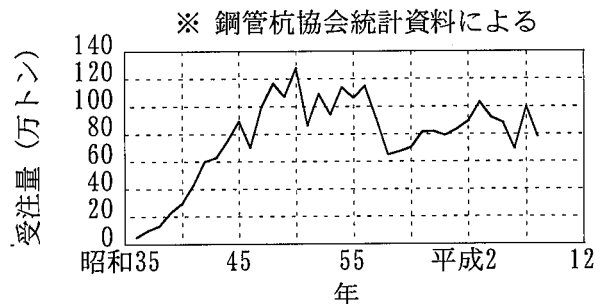
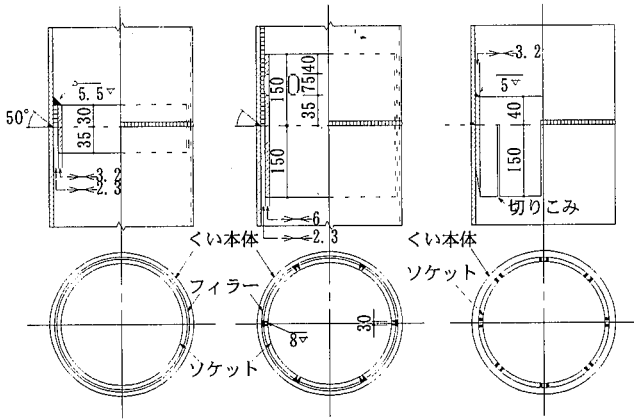


Fig. 4 鋼管杭の需要の変遷  
Transition of Demand for Steel Pipe Pile

では溶接継手を原則としおり、同規準制定以降の鋼管杭の継手は、溶接継手になっていったものと考えられる。同規準には主に使われていた鋼管杭の溶接継手としてFig. 5が示されている。昭和49年、昭和63年版のJASS4には、現場継手の仕様として溶接継手を指定しており、昭和63年版にはFig. 6が示されている。

杭頭接合法に関しては、「鋼ぐい基礎規準」(昭和38年)に設計法が、杭頭を基礎スラブに埋込む場合 (Fig. 7)、杭頭に平板を付ける場合 (Fig. 8)、上記2つの方法では杭頭の支圧応力に対応できない場合 (Fig. 9)に分けて詳述さ



※ 寸法は一例を示したもの

Fig. 5 主に使われていた鋼管杭の溶接継手の例  
An Example of Mainly Used Joint for Steel Pipe Pile

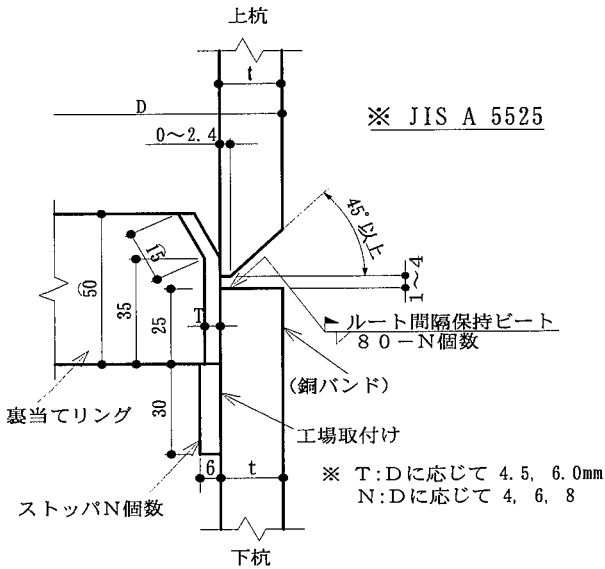


Fig. 6 鋼管杭の溶接継手の例  
An Example of Joint for Steel Pipe Pile

れている。昭和49年のJASS4および「基礎構造規準」では、「鋼くい基礎規準」を参照されたいとしており、昭和49年以降も、同規準の方法で設計されていたことがわかる。なお、昭和44年出版の土質工学会「鋼グイー鋼グイ研究委員会報告一」では、水平荷重を受ける場合の設計例はほとんど見られないとしている。そして、鋼グイ研究委員会による水平荷重を受ける杭頭接合部に関する研究の成果について記し、さらに設計例(Fig. 10)を示しており、この頃から、水平力についても考慮されるようになっていったことがわかる。鋼管杭協会「建築用鋼管杭施工指針・同解説」(昭和61年)では、鉛直荷重の伝達機構から接合法を、鋼蓋の支圧によるもの(Fig. 11)、杭とコンクリートの付着と杭とコンクリートの支圧によるもの(Fig. 12)、特殊な補強によるもの(Fig. 13)に分け、それらの

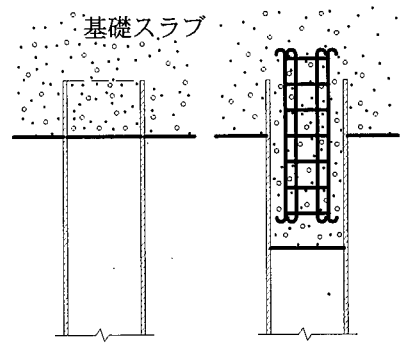


Fig. 7 杭頭を基礎スラブに埋込む場合の例  
An Example of Pile Head Joint for Pile Inserted into Foundation Slab

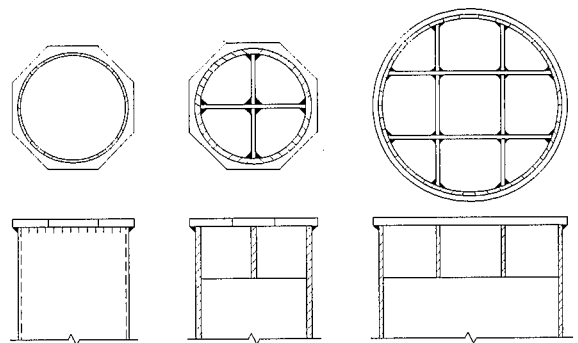


Fig. 8 杭頭に平板を付ける場合の例  
An Example of Pile Head with Plate

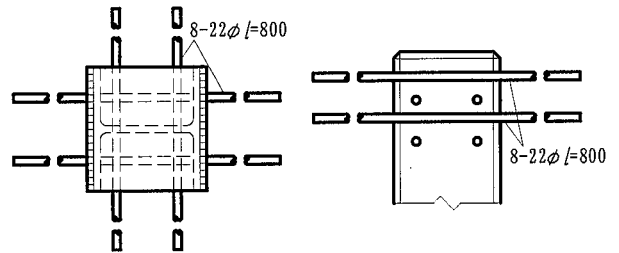


Fig. 9 かんざしを用いた杭頭接合部の例  
An Example of Pile Head Joint with Special Reinforcement

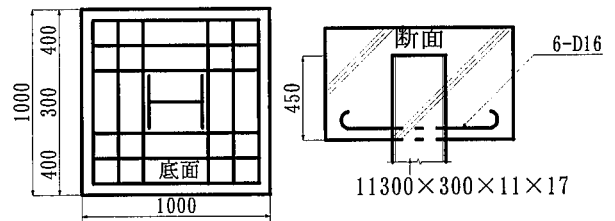
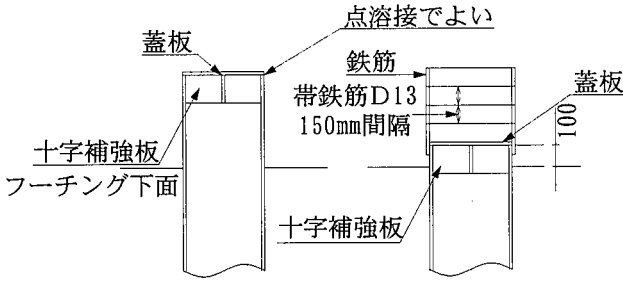


Fig. 10 水平力を受ける場合の設計例  
An Example of Pile Head Joint for Lateral Load Acting Pile



※ 日本道路協会「道路橋示方書」(昭和55年)の方法

Fig. 11 鉛直荷重の伝達を鋼蓋で行う接合法  
An Example of Pile Head Joint with Steel Plate

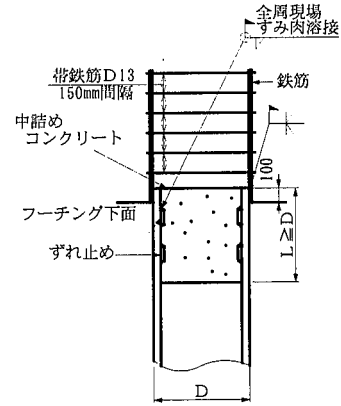
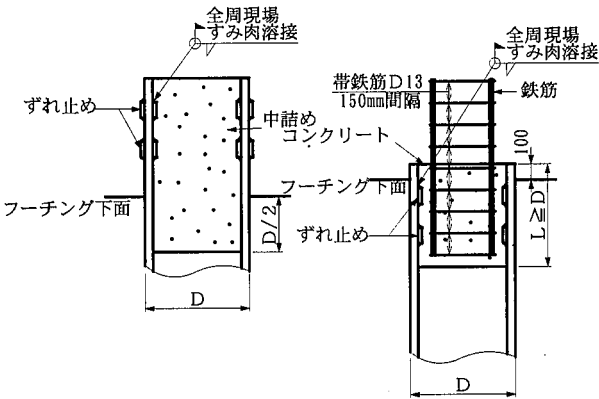


Fig. 13 鉛直荷重の伝達を特殊な補強で行う接合法  
An Example of Pile Head Joint with Special Reinforcement



※ 日本道路協会「杭基礎設計便覧」(昭和61年)の方法

Fig. 12 鉛直荷重の伝達を杭とコンクリートの付着および支圧による接合法  
An Example of Pile Head Joint for Vertical Load Transmissive System by Concrete Bond and Bearing Strength

剛結状態の代表例を示している。Fig. 7~9に示した「鋼ぐい基礎規準」(昭和38年)の杭頭接合法に比較して、改良されていることがわかる。昭和63年版「基礎構造規準」には、記述のようにやや不明確ながらも鋼管杭を含む既製杭の杭頭接合部に関する設計上の扱いが示されており、この年代以降は、同規準に適合する設計が行われているものとする。

## 5. まとめ

本技術資料では、建物の基礎に利用されてきた既製コンクリート杭、場所打ちコンクリート杭、鋼管杭について、各年代での利用状況、施工法、継手、および杭頭接合法の変遷について示した。本技術資料が、既存建物を支持する杭基礎の状態を推定し、耐震診断を行う上で少しでも役立てば幸いである。

## 参考文献

- 1) 土質工学会：構造物基礎入門，土質工学会，(1980)