

第11章 杭基礎

11-1 杭基礎設計の基本

1) 杭基礎の定義 [杭基礎便覧 I.3]

杭基礎とは、打込み杭工法、埋込み杭工法および場所打ち杭工法によって設置された杭の頭部をフーチングと剛結合することにより、一体とする弾性体基礎である。

2) 工法の特徴および選定

(1) 工法の特徴 [杭基礎便覧 I.4-1]

打込み杭工法、埋込み杭工法、場所打ち杭工法の長所、短所を表 11-1-1 に示す。

表 11-1-1 各工法の特徴

		長所	短所
打込み杭工法	打撃工法	i) 既成杭のため杭体の品質はよい。 ii) 施工速度が速く、施工管理が比較的容易である。 iii) 小規模工事でも割高にならない。 iv) 水位に左右されず施工が可能（船打ちも可能）である。 v) 打止め管理式等により、簡易に支持力の確認が可能である。 vi) 残土が発生しない。	i) 他工法に比べて、騒音、振動が大きい。 ii) コンクリート杭の場合、径が大きくなると重量が大きくなるため、運搬、取扱いには注意が必要である。 iii) 所定の高さで打止りにならない場合、長さの調整が必要となる。
	バイプロハンマ工法	i) 既成杭のため杭体の品質はよい。 ii) 施工速度が速く、施工管理が比較的容易である。 iii) 小規模工事でも割高にならない。 iv) 水位に左右されず施工が可能（船打ちも可能）である。 v) 打止め管理式等により、簡易に支持力の確認が可能である。 vi) 残土が発生しない。	i) 他工法に比べて、騒音、振動が大きい。 ii) 現場条件によりヤットコ施工に制約があるため、ヤットコを用いる場合は事前の検討・確認が必要である。 iii) 所定の高さで打止りにならない場合、長さの調整が必要となる。
埋込み杭工法	中掘り杭工法	i) 振動、騒音が小さい。 ii) 既成杭のため杭体の品質はよい。 iii) 打込み杭工法に比べて近接構造物に対する影響が小さい。	i) 施工管理が打込み杭工法に比較して難しい。 ii) 泥水処理、排土処理が必要である。 iii) コンクリート杭の場合、径が大きくなると重量が大きくなるため、施工機械選定には注意が必要である。
	プレボーリング杭工法	i) 振動、騒音が小さい。 ii) 既成杭のため杭体の品質はよい。 iii) 打込み杭工法に比べて近接構造物に対する影響が小さい。	i) 施工管理が打込み杭工法に比較して難しい。 ii) 泥水処理、排土処理が必要である。 iii) 径が大きくなると杭体重量が大きくなるため、施工機械選定には注意が必要である。
	鋼管ソイルセメント杭工法	i) 振動、騒音が小さい。 ii) 打込み杭工法に比べて近接構造物に対する影響が小さい。 iii) 場所打ち杭等に比べて排土量が少ない。	i) 施工管理が他工法に比較して難しい。 ii) 泥水処理、排土処理が必要である。
場所打ち杭工法	深礎工法 アースドリル工法 リバース工法 オールケーシング工法	i) 振動、騒音が小さい。 ii) 大径の杭が施工可能である。 iii) 長さの調整が比較的容易である。 iv) 掘削土砂により中間層や支持層の土質を確認することができる。 v) 打込み杭工法に比べて近接構造物に対する影響が小さい。	i) 施工管理が打込み杭工法に比較して難しい。 ii) 泥水処理、排土処理が必要である。 iii) 小径の杭の施工が不可能である。 iv) 杭本体の信頼性は既製杭に比べ小さい。

[杭基礎便覧 (H19.3) I.4-1]

(2) 工法の選定 [杭基礎便覧 参考資料 3.]

杭の工法の選定にあたっては、地形および地質条件、構造物の特性、荷重条件、施工条件、環境条件等を考慮する必要がある。基礎形式選定表を表 11-1-2 に示す。

表 11-1-2 基礎形式選定表

適用条件		基礎形式		打込み杭工法		中掘り杭工法						鋼管ソイルセメント杭工法	プレボーリング杭工法	場所打ち杭工法			回転杭工法		
				P H C 杭 ・ S C 杭	鋼管杭	PHC杭・SC杭			鋼管杭					オールケーシング工法	リバース工法	アースドリル工法			
						最終打撃方式	噴出攪拌方式	コンクリート打設方式	最終打撃方式	噴出攪拌方式	コンクリート打設方式								
支持層までの状態	表層近傍又は中間層にごく軟弱層がある	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○		
		△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	×	○		
		中間層にれきがある	れき径 50mm 以下	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			れき径 50~100mm	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	△	×	○	○	
			れき径 100~500mm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	
	液状化する地盤がある	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	地盤条件	支持層の状態	深度	5m 未満	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
				5~15m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○
				15~25m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
				25~40m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○
40~60m				△	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○	△	○	×	○	
60m 以上				×	△	△	×	×	×	×	×	×	△	△	×	△	×	○	
土質		砂・砂れき (30 ≤ N)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		粘性土 (20 ≤ N)	○	○	○	○	△	×	○	△	×	△	△	○	○	○	△		
		軟岩・土丹	×	○	△	○	△	×	○	△	×	△	△	○	○	○	△		
		硬岩	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	△	×		
傾斜が大きい、層面の凹凸が激しい等、支持層の位置が同一深度では無い可能性が高い	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○				
地下水の状態	地下水水位が地表面近い	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	○			
	湧水量が極めて多い	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△	○			
	地表より 2m 以上の被圧地下水	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○			
	地下水流速 3m/min 以上	○	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	○			
支持形式	支持杭	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	摩擦杭	○	○	○	×	×	×	×	×	×	○	×	○	○	○	×			
施工条件	水上施工	水深 5m 未満	○	○	○	△	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×	○		
		水深 5m 以上	△	○	○	△	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×	○		
	作業空間が狭い	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△			
	斜杭の施工	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○			
	有毒ガスの影響	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	周辺環境	振動騒音対策	×	×	△	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○		
		隣接構造物に対する影響	×	△	△	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○		

○：適用性が高い △：適用性がある ×：適用性が低い

[杭基礎便覧 (参考資料 6)]

(3) 設計に対する留意事項 [杭基礎便覧 参考資料 3.]

- ① 鋼管杭の材質は SKK400 を標準とするが場合によっては SKK490 との経済比較を行い使用材質を決定する。
- ② 常時水中および土中にある部分の鋼管杭の腐食代は、外周面に対して、1.0mm を標準とする。
- ③ SC 杭における外殻鋼管の厚さおよび材質については、設計対象に応じて安全かつ経済的なものを選定する。なお、腐食代については 1.0mm を標準とする。
- ④ 鋼管杭の各部の厚さは、設計上必要な厚さに腐食減厚を加えたものとし、最小肉厚は 9mm 以上とする。また、肉厚の決定は 1mm 単位で行うものとする。
- ⑤ 既製コンクリート杭の長さは支持力・施工性・継手箇所の信頼性等を考慮して設計する。

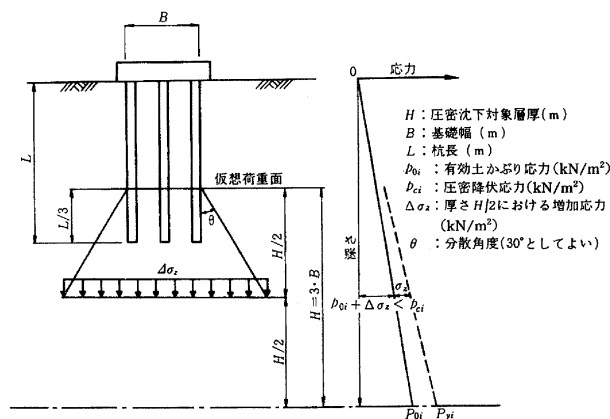
PHC 杭は、近年 3 本継、4 本継が施工され、実績も多く問題も少なくなっているが、選定にあたっては、施工方法・継手構造等を十分検討しなければならない。

- ⑥ 基礎杭の許容変位量は、上部、下部構造の機能と安全性を保持するうえで下部構造に許容し得る値として、常時、地震時とも 1 cm を標準とする。〔河川砂防(設 I) 第 7 章 7.2.4〕
- ⑦ 場所打ち杭の設計径は 80 cm 以上とし、10 cm 単位とする。また、河川工事では、捨石や支障物が埋設されている場合があり、場所打ち杭が有利なケースがあるため、杭の形式選定にあたっては留意する。
- ⑧ 摩擦杭形式を選定できる地盤条件

- a. 著しい地盤沈下が現在進行中でないこと、および将来とも予想されないこと。
- b. 杭の根入れ長が杭径の 25 倍（杭径 1m 以上の杭については 25m）程度以上あること。
- c. 粘性土地盤においては、杭の根入れ長の 1/3 以上が過圧密地盤に根入れされており、また、図 11-1-1 に示すような条件で有効土被り応力と主荷重による増加応力の和が、圧密降伏応力を超えないこと。

摩擦支持杭の場合、上記の条件を満足する場合には、支持杭と同等の安全率 (n) を採用してもよいこととする。なお、杭先端の支持力は、原則として考慮しないものとする。

また、中掘り杭工法、プレボーリング杭工法や回転杭工法の摩擦支持形式は、支持力特性が明らかでないので原則として採用してはならない。



[杭基礎便覧 12.9.3]

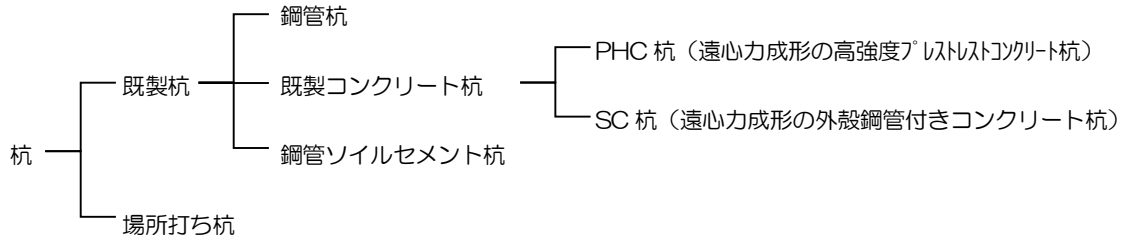
図 11-1-1 摩擦杭の圧密沈下量を検討する場合の荷重分散の考え方

【コラム】杭の種類と許容変位量

○杭の種類による分類

既製コンクリート杭のうち、PC杭およびRC杭は、以下の理由により杭基礎設計便覧から記載が削除された。

- PC杭（遠心力成形のプレストレストコンクリート杭）については、橋梁基礎における施工実績が少なくなっていたことや平成5年のJIS改訂により廃止された。
- RC杭（遠心力成形の鉄筋コンクリート杭）については、道路橋の基礎への採用状況を踏まえて平成24年に改訂された道示Ⅳで削除された。



〔杭基礎便覧Ⅰ.4-1〕

杭の種類による分類

○基礎杭の許容変位量

道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編（H24.3）においては、基礎杭の許容変位量は以下のように規定されており、河川砂防技術基準（案）と異なっていることに留意する。

道路橋示方書における杭の許容変位量

橋脚		橋台	
常時	レベル1地震時	常時	レベル1地震時
杭径の1%、ただし15mm以上50mm以下	杭径の1%、ただし15mm以上50mm以下	15mm	杭径の1%、ただし15mm以上50mm以下

⑨ 良質な支持層 [道示（下部）9.4]

良質な支持層としては、一般的に次の事項を目安としてよい。

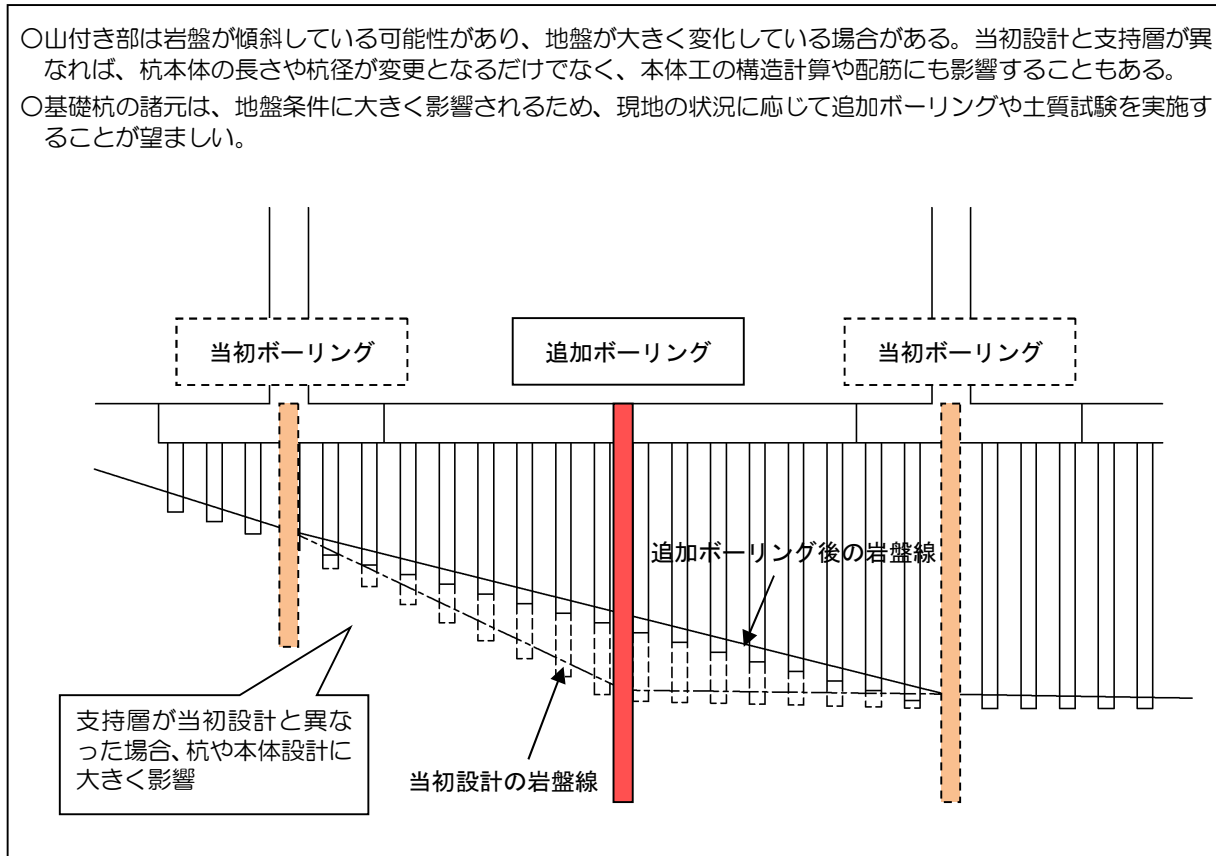
- 粘性土層は砂質層に比べて大きな支持力が期待できず、沈下量も大きい場合が多いため支持層とする際には十分な検討が必要であるが、N値が20程度以上（一軸圧縮強度 $q_u$ が $0.4N/mm^2$ 程度以上）あれば良質な支持層と考えてよい。
- 砂層、砂れき層はN値が30程度以上あれば良質な支持層と考えてよい。ただし、砂れき層ではれきをたたいてN値が過大にでる傾向があるので、支持層の決定には十分な注意が必要である。
- 岩盤は材料としての強度が大きく、均質な岩盤を支持層とした場合には大きな支持が期待できる。しかし、岩盤に不連続面が存在したり、スレーキング等の影響を受けやすい場合には、均質な岩盤に比べて十分な支持力が得られないことがある。したがって、岩盤を支持層とする場合には、これらの影響について事前に検討を行っておく必要がある。
- N値から判断して良質な支持層と考えられる層でも、その層が薄くその下に相対的に弱い層又は圧密層がある場合には、この良質な支持層として適切かどうか支持力と沈下についてその影響を検討する必要がある。支持層と想定する層の下に圧密層がある場合、一般に基礎底面から基礎幅（換算載荷幅としてよい）の3倍程度の間にかような層が存在する場合には、影響が生じる可能性があるため注意が必要である。

## ⑩ 杭の支持層への根入れ [道示(下部)9.4]

支持杭においては、杭先端の支持層への根入れ深さは杭径程度以上確保するのがよい。このとき、地盤調査結果等に基づき設定した支持層の深さには、地盤調査の頻度や地盤の不均一性等による誤差が含まれていることを考慮し、杭長はある程度の余裕を見込み、0.5m きざみ程度で決定するのがよい。

## 【コラム】山付き部の地質調査のポイント

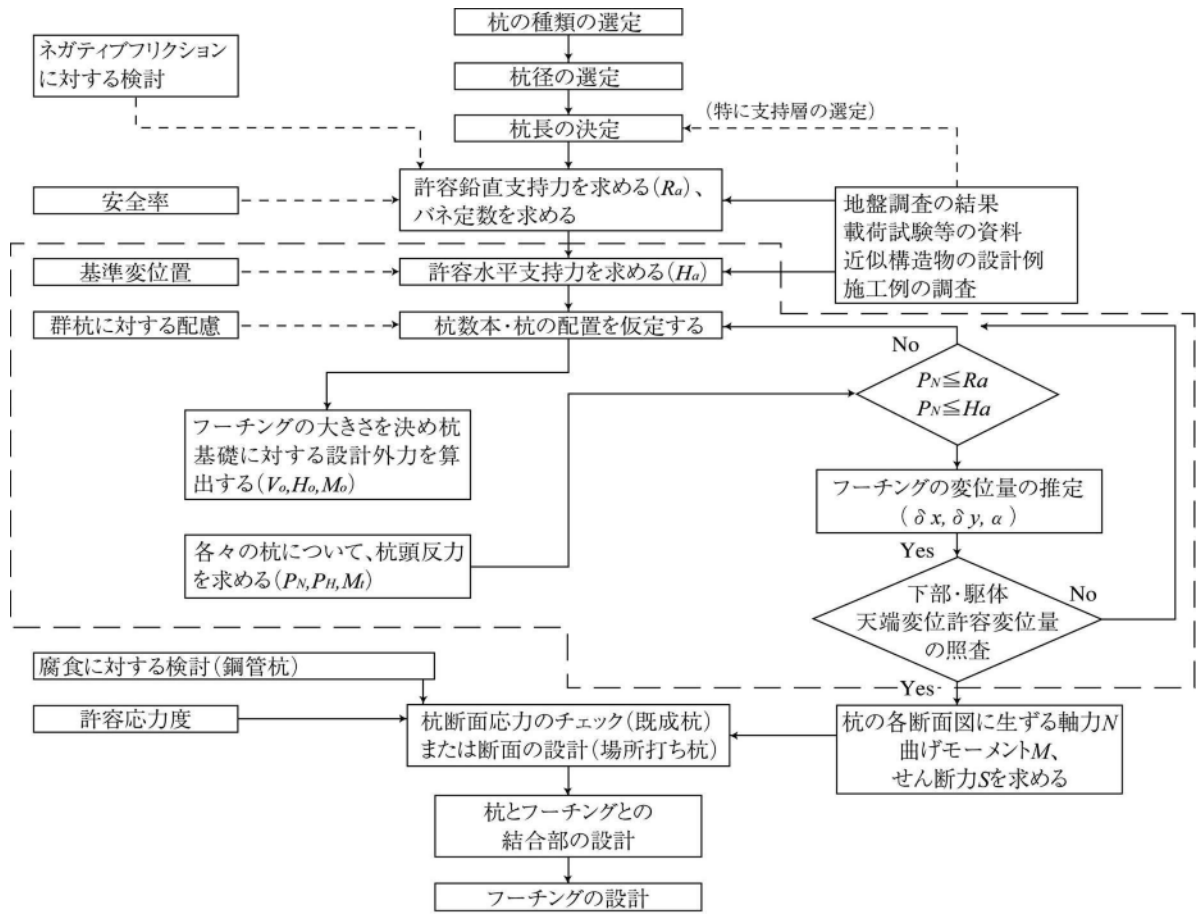
- 山付き部は岩盤が傾斜している可能性があり、地盤が大きく変化している場合がある。当初設計と支持層が異なれば、杭本体の長さや杭径が変更となるだけでなく、本工事の構造計算や配筋にも影響することもある。
- 基礎杭の諸元は、地盤条件に大きく影響されるため、現地の状況に応じて追加ボーリングや土質試験を実施することが望ましい。



## 3) 設計の基本 [道示(下部)12.1]

- (1) 常時、暴風時及びレベル1地震時に対する杭基礎の照査は、次によるものとする。
  - ① 各杭頭部の軸方向反力は、杭の許容支持力以下とする。
  - ② 杭基礎の変位は、許容変位以下とする。
  - ③ 杭基礎の各部材に生じる応力度は、許容応力度以下とする。
- (2) レベル2地震時に対する杭基礎の照査は、「道示(下部)12.10」の規定によるものとする。

杭基礎の設計手順をフローチャートで示すと図 11-1-2 のようである。



〔基礎地盤便覧 第2編 1-2〕

図 11-1-2 杭基礎の設計手順

11-2 荷重分担 [道示(下部)12.2]

- (1) 鉛直荷重は、杭のみで支持させるのを原則とする。
- (2) 水平荷重は、杭のみで支持させるのを原則とする。ただし、杭とフーチング根入れ部分と共同で分担させる場合には、両者の分担割合について十分検討するものとする。

杭は原則として支持杭方式とするが、規模が小さく、支持層が深いため基礎工事費が本体の工事費と比較し非常に多くかさむ場合等では、プレロード等の対策を考慮することにより、摩擦杭とすることができる。しかし、この場合は将来の沈下も考慮し設計するものとする。また、継手にも配慮が必要である。

11-3 杭の配列 [道示(下部) 12.3]

杭の配列は、杭基礎上の橋台又は橋脚の形状や寸法、杭の寸法や本数、群杭の影響、施工条件等を考慮し、長期の持続荷重に対して均等に荷重を受けるように定めるものとする。

- ① 杭の最大中心間隔については、底版厚等を考慮し、杭径の10倍以下もしくは4.0m以下を標準とする。  
 なお、杭径の2.5倍より小さくする場合は、群杭の影響についての検討が必要となる。
- ② 最外周の杭中心とフーチング縁端との距離は、杭径の1.0倍とする。

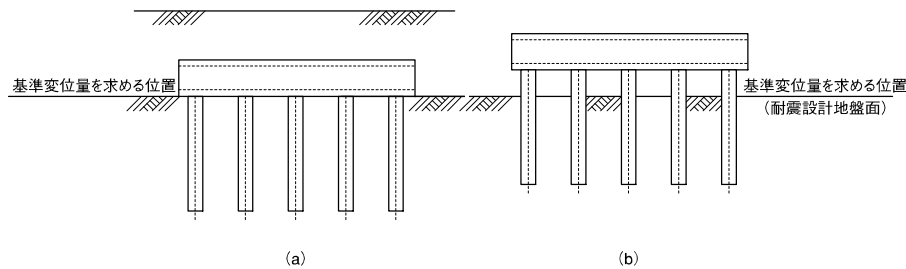
11-4 杭の許容支持力 [道示(下部) 12.4]

(1) 1本の杭の軸方向許容押し込み支持力は、道示(下部) 12.4.1によるものとする。

(2) 1本の杭の軸方向許容引抜き力は、道示(下部) 12.4.2によるものとする。

(3) 杭の軸直角方向力に対する許容支持力から求める杭本数(慣用法) [基礎地盤便覧 I-2.3]

杭本数は、杭軸直角方向許容支持力、杭軸方向許容支持力、杭体の制作可能範囲、経済性などを満足するように決定されるが近年軟弱な地盤上に杭基礎が施工されることが多くなり、杭軸直角方向許容支持力により杭本数が決定されることが多くなっている。



[基礎地盤便覧 I-2.3]

図 11-4-1 杭の許容変位量を求める位置

$$n = \frac{H_o}{H_a}$$

ここに、 $n$  : 許容変位量から定まる杭本数(本)  
 $H_o$  : フーチング下面に集計された水平力(N) {kg f}

a. 地中に埋込まれた杭の場合  $h = 0$  (杭頭が回転しない場合)

$$\text{杭頭変位} \quad H_a = \frac{k_H D}{\beta} \cdot \delta_a$$

b. 地上に突出している杭の場合  $h > 0$  (杭頭が回転しない場合)

$$\text{地表面変位} \quad H_a = \frac{4EI\beta^3}{1 + \beta h} \cdot \delta_a$$

- ここに、 $H_a$  : 許容変位量から決まる杭の軸直角方向許容支持力 (N) {kg}  
 $k_H$  : 横方向地盤反力係数 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) {kg f /  $\text{cm}^3$ }  
 $D$  : 杭径 (m)  
 $\beta$  :  $\sqrt[4]{K_H D / 4EI}$  ( $\text{m}^{-1}$ )  
 $E I$  : 杭の曲げ剛性 ( $\text{kN} \cdot \text{m}^2$ ) {kg f  $\cdot \text{cm}^2$ }  
 $h$  : 杭の突出長 (m)  
 $\delta_a$  : 許容変位量 (m)

(4) 負の周面摩擦力 [道示 (下部) 12.4.3]

圧密沈下を生じるおそれのある地盤中に杭を打設する場合には、杭体の損傷を防ぎ、構造物の機能を確保するために、杭の鉛直支持力、杭体応力度および杭頭沈下量について、負の周面摩擦力による影響を考慮して検討するものとする。

① 中立点の位置

図 11-4-2 は、杭の施工時から負の摩擦力が生じる状態までを模式的に示している。

(a) は、杭施工後荷重 ( $R_a$ ) が作用したときの状態であり、荷重 ( $R_a$ ) により杭頭に弾性変形が生じ、荷重 ( $R_a$ ) は地盤による杭の極限支持力 ( $R_u$ ) によってささえられている。

(b) は、地盤沈下が生じたときの状態であり、中立点から上の部分には負の周面摩擦力が生じる。更に地盤沈下が進行すると (c) の状態となる。

すなわち、負の摩擦力の作用する範囲が下方に移動しその大きさも増し、図に示す軸力分布となる。この場合の杭の設計は、中立点で、最大軸力に対する杭材自体の安全性を確保すること及び荷重 ( $R_a$ ) を中立点から上の負の摩擦力 ( $R_{nf}$ ) に見合った中立点より下にある地盤による極限支持力 ( $R_u$ ) を確保することで行われる。

中立点の位置は、特にデータがない場合は、圧密層の下端と仮定してもよい。

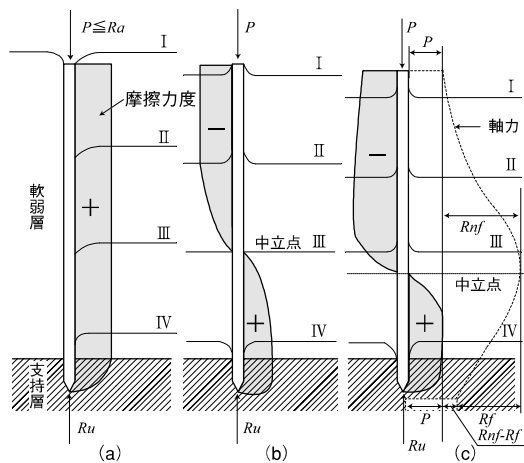


図 11-4-2 負の摩擦現象の説明図 [基礎地盤便覧 第2編 2-2]



② 負の周面摩擦力の対策方法

a. 杭耐力、または地盤支持力の増強による方法

- イ. 杭径、肉厚を増す。
- ロ. 杭の材質を上げる。
- ハ. 杭本数を増す。
- ニ. 支持層への根入れ深さを増す。
- ホ. 杭先端面積を増す。
- ヘ. 群杭の利用

b. 負の周面摩擦力を低減する（フリクションカット）方法

イ. 負の摩擦力低減杭

- ・ スリップ・レイヤーコンパウンド杭（SL杭）

SL 塗布部の負の周面摩擦力 (kN/m<sup>2</sup>) {tf/m<sup>2</sup>}

地中温度 (°C)	一般地区 t ≥ 15	寒冷地区 11 ≤ t < 15	極寒冷地区 t < 11
負の周面摩擦力 f	2.0 {0.2}	3.0 {0.3}	5.0 {0.5}

注1) 圧密沈下量 30 cm/年以下に適用し、SL杭の製造メーカーが取得した建設大臣認定値

2) フリクションカット面より上の正の周面摩擦力は、長期支持力算定には考えない。

- ・ ネガティブ・スキンプリクション杭（NF杭）

負の周面摩擦力 f = 1.0 kN/m<sup>2</sup> {0.1tf/m<sup>2</sup>}

- ロ. 二重管の採用
- ハ. テーパー杭

(5) 群杭の考慮 [道示（下部）12.4.4]

- ① 軸方向押込み力に対する群杭の支持力は、杭中心間隔に応じた群杭の影響を考慮して検討するものとする。  
また、軸方向押込み力に対する沈下量についても、群杭の影響を検討するものとする。
- ② 群杭の軸直角方向支持力は、杭中心間隔に応じた群杭の影響を考慮して検討するものとする。

11-5 水平方向地盤反力係数 [道示（下部）9.6.2]

杭基礎の設計に用いる水平方向地盤反力係数は、地質調査、土質試験の結果を十分検討した上で求めるか、あるいは杭の水平載荷試験による荷重-変位曲線から逆算して求めるものとする。

水平方向地盤反力係数は、次式により算出するものとする。

$$k_H = k_{H0} \left( \frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4} \quad \text{式(11-5-1)}$$

ここに、

$k_H$  : 水平方向地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$k_{H0}$  : 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する水平方向地盤反力 (kN/m<sup>3</sup>) で、各種土質試験または調査により求めた変形係数から推定する場合は、次式により求める。

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0 \quad \text{式(11-5-2)}$$

$E_0$  : 表 11.5.1 に示す方法で測定または推定した設計の対象とする位置での地盤の変形係数 (kN/m<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 地盤反力係数の推定に用いる係数で、表 11-5-1 に示す。

$B_H$  : 荷重作用方向に直交する基礎の換算載荷幅 (m) で杭基礎の場合  $\sqrt{D/\beta}$  とする。なお、式(11-5-1)の  $-3/4$  は載荷幅依存性を考慮するものである。

$D$  : 荷重作用方向に直交する基礎の載荷幅 (m) で杭基礎の場合は杭径となるが、鋼管ソイルセメント杭の場合はソイルセメント柱径とする。

$\beta$  : 基礎の特性値  $\sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}}$  (1/m)

$EI$  : 基礎の曲げ剛性 (kN・m<sup>2</sup>)

表 11-5-1 地盤変形係数  $E_0$  および地盤反力係数の推定に用いる係数  $\alpha$

変形係数 $E_0$ の推定方法	係数 $\alpha$	
	常時	地震時
直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の繰返し曲線から求めた変形係数の 1/2	1	2
孔内水平載荷試験で測定した変形係数	4	8
供試体の一軸圧縮試験または三軸圧縮試験から求めた変形係数	4	8
標準貫入試験の N 値より $E_0=2,800N$ で推定した変形係数	1	2

注) 暴風時は、常時の値を用いるものとする。

[道示 (下部) 9.6.2]

11-6 杭のバネ定数

(1) 杭の軸方向バネ定数 [道示 (下部) 12.6.1]

1 本の杭の軸方向バネ定数は、既往の鉛直載荷試験に基づく推定式や土質試験の結果によるか、鉛直載荷試験による荷重一沈下量曲線から求めるものとする。

(2) 杭の軸直角方向バネ定数 [道示 (下部) 12.6.2]

1 本の杭の軸直角方向バネ定数は、水平方向地盤反力係数を用いて弾性床の上のはりの理論に基づき算出するものとする。

11-7 杭反力および変位の計算 [道示 (下部) 12.7]

(1) 杭基礎における杭反力及び変位は、杭体及び地盤の特性を適切に考慮して算出するものとする。  
 (2) 次による場合は、(1)を満足するとみなしてよい。  
 杭基礎における杭反力及び変位は、フーチングを剛体、杭及び地盤を杭の軸方向バネ定数及び杭の軸直角方向バネ定数で評価した線形弾性体として計算する。

## 11-8 特殊な条件における杭基礎の設計 [道示(下部) 12.8]

次に示すような特殊な条件における杭基礎の設計にあたっては、地盤の特性、荷重条件、杭基礎全体の安全性等について、総合的に検討するものとする。

- (1) フーチング根入れ部の水平抵抗を考慮する杭基礎
- (2) 杭体に水平荷重を受ける杭基礎
- (3) 同一フーチングに著しく異なった長さの杭を有する杭基礎
- (4) 斜面上に設けられる杭基礎
- (5) 水平変位の制限を緩和する杭基礎

## 11-9 杭本体の設計

## 1) 完成後の荷重に対する設計 [道示(下部) 12.9.1]

- (1) 軸方向押し込み力または軸方向引抜き力による杭体各部の軸力は、地盤の特性を考慮して算出する。
- (2) 軸直角方向力及び杭頭モーメントによる杭体各部の曲げモーメントおよびせん断力は、杭体を弾性床土のはりとして計算する。
- (3) 杭体各部は、軸力、曲げモーメントおよびせん断力に対して安全であることを照査する。

杭体に生じる応力度は、軸力最大 ( $N_{max}$ ) と軸力最小 ( $N_{min}$ ) の両方について行うものとする。全長が地中に埋め込まれた杭では、一般に座屈の影響を考慮しなくてもよいこととした。これは杭側面の地盤が軟弱である場合でも座屈を拘束するからである。

## 2) 継手 [道示(下部) 12.9.2]

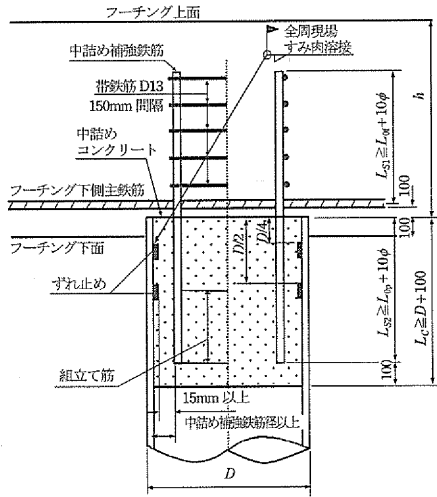
- (1) 杭の継手は、施工時及び完成後に作用する荷重に対して安全であることを照査する。
- (2) 継手の位置は、断面の余裕、地盤の剛性変化、腐食等を考慮し、その影響が少ないところに設ける。

## 3) 杭とフーチングの接合部 [道示(下部) 12.9.3]

杭とフーチングの接合部は原則として剛結とし、接合部に生じる力に対して安全であることを照査する。

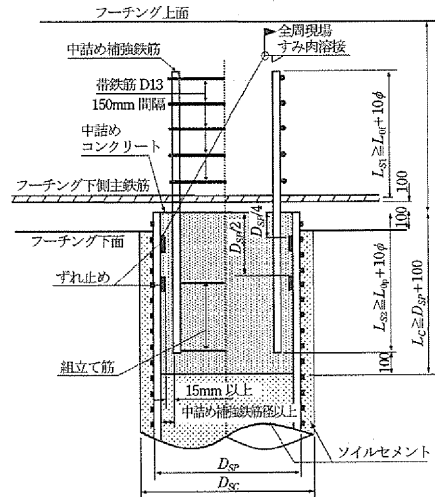
杭とフーチングの結合部の設計法については、「杭基礎便覧 Ⅲ 6-3」によるものとする。

- ① 結合方法は「道示 12.9.3」に示す方法（フーチング内の杭の埋込み長さを最小限度（100mm）に留め、主として鉄筋で補強することにより杭頭曲げモーメントに抵抗する方法）を標準とする。
- ② 鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭の杭頭部の補強は、施工品質の確保が可能な中詰め補強鉄筋を用いた鉄筋かご方式による。施工品質の確保が困難な溶接による補強は用いないこととし、SD345の中詰め補強鉄筋では配置が困難な場合には、SD390やSD490を用いる。ただし、この場合にはコンクリートの設計基準強度を  $30\text{N/mm}^2$  とする。
- ③ 底版下面の下側主鉄筋のかぶりは  $200\text{mm}$  とすることを標準とする。



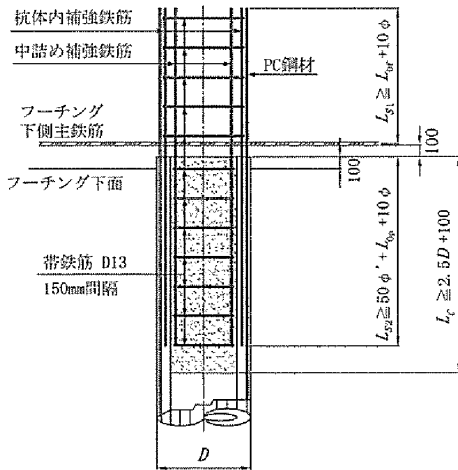
〔道示（下部）12.9.3〕

図 11-9-1 鋼管杭の接合方法



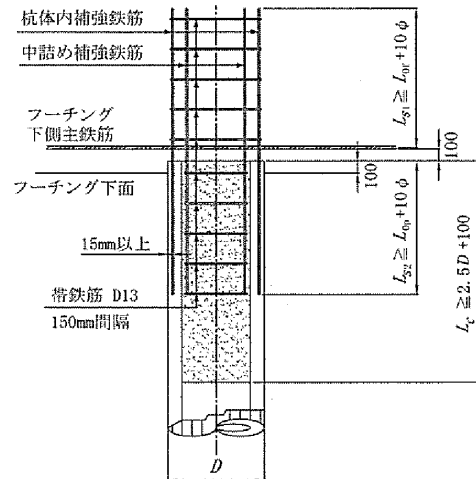
〔道示（下部）12.9.3〕

図 11-9-2 鋼管ソイルセメント杭の接合方法



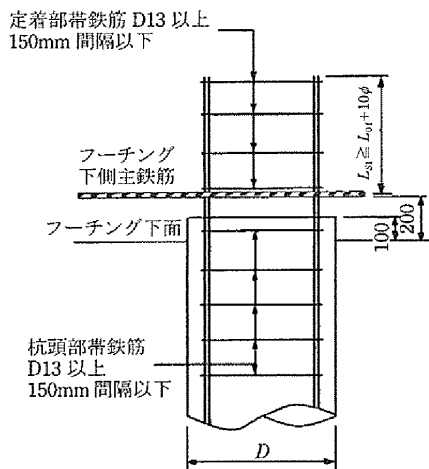
〔道示（下部）12.9.3〕

図 11-9-3 PHC 杭の接合方法



〔道示（下部）12.9.3〕

図 11-9-4 SC 杭の接合方法



〔道示（下部）12.9.3〕

図 11-9-5 場所打ち杭の接合方法

④ 水平荷重が作用するPHC杭

水平荷重が作用するPHC杭については、製作の際予め杭頭部補強鉄筋を配置し、必要杭長+1.00mの杭長として製品化する。

現在では杭打設後、杭頭部1m分をハツリ、補強鉄筋、PC鋼線をハツリ出しして構造物底版に剛結させるものとする。

4) 施工時の検討 [道示(下部)12.9.4]

杭は運搬、建込み及び打込み時における応力に対して安全であることを照査するものとする。

11-10 耐震設計上土質定数を低減させる土層 [道示(耐震)8-2-4]

(1) 基礎地盤面から3m以内にある粘性土層およびシルト質土層で、一軸圧縮強度が(20kN/m<sup>2</sup>)以下の土層は、その土質定数を零とする。

(2) 第2編 第2章2-3-3 4)(5)①に規定する液状化が生じると判定された砂質土層は、液状化に対する抵抗率 $F_L$ の値に応じて耐震設計上土質定数を低減させるものとする。

液状化すると判定された場合の土質定数は、その土層が液状化しないものとして求めた土質定数に表11-10-1の低減係数 $D_E$ を乗じて算出する。ここで、 $D_E$ を乗じて低減させる土質定数とは、地盤反力係数、地盤反力度の上限値、最大周面摩擦力度をさすものとする。

表 11-10-1 土質定数に乗じる低減係数  $D_E$

$F_L$ の範囲	現地盤面からの深度 $x$ (m)	動的せん断強度比R			
		$R \leq 0.3$		$0.3 < R$	
		レベル1地震動の場合	レベル2地震動の場合	レベル1地震動の場合	レベル2地震動の場合
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/6	0	1/3	1/6
	$10 < x \leq 20$	2/3	1/3	2/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1/3	1	2/3
	$10 < x \leq 20$	1	2/3	1	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	1	2/3	1	1
	$10 < x \leq 20$	1	1	1	1

[道示(耐震)8-2-4]

11-11 試験杭 [道示(下部)18.3]

杭の施工に際しては、あらかじめ試験杭の施工を行うのを原則とする。  
ただし、施工地点における杭の施工性が十分把握されている場合は、試験杭を省略することができる。

① 試験杭の長さは本杭の長さ+2.0mとする。

ただし、支持層の状況によりこれにより難しい場合もあるので、N値、地質等について充分注意する必要がある。

② 動的支持力

動的支持力については次式の打ち止め管理式を用いて算出するのがよい。

a. 波動方程式から誘導した動的支持力算定式 [道示(下部)18.9]

先端閉塞杭の場合、打止めの地盤によっては、打込みにより土層中の水圧が極端に高くなり、この影響でリバウンド量が異常に大きくなることがあるので、このような場合には本式を適用してはならない。

$$R_a = \frac{1}{3} \left( \frac{AEK}{e_o \ell_1} + \frac{\overline{NU} \ell_2}{e_f} \right) \left\{ = \frac{1}{3} \left( \frac{AEK}{e_o \ell_1} + \frac{10 \overline{NU} \ell_2}{e_f} \right) \right\}$$

- ここに、  
 $R_a$  : 杭の許容支持力 (kN)  
 $E$  : 杭のヤング係数 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\ell_1$  : 動的先端支持力算定上の杭長で表 11-11-1 による (m)  
 $A$  : 杭の純断面積 (m<sup>2</sup>)  
 $\ell_2$  : 地中に打込まれた杭の長さ (m)

表 11-11-1 杭長の補正

$e_o$ の値	$\ell_1$ の値
$e_o \geq 1$	$\ell_m$
$1 > e_o \geq \ell_m / \ell$	$\ell_m / e_o$
$e_o \leq \ell_m / \ell$	$\ell$

[道示 (下部) 18.9]

- $\ell$  : 杭の先端からハンマ打撃位置までの長さ (m)  
 $\ell_m$  : 杭の先端からリバウンド測定位置までの長さ (m)  
 $U$  : 杭の周長 (m)  
 $\overline{N}$  : 杭周面の平均N値  
 $K$  : リバウンド量 (m)  
 $e_o, e_f$  : 補正係数であり、表 11-11-2 の値とする。ただし、 $W_H / W_P$  はハンマと杭の重量比であり、ヤットコを使用する場合には  $W_P$  は杭とヤットコの重量の合算した値とする。

表 11-11-2 補正係数

杭種	施工方法	$e_o$	$e_f$	備考
鋼管杭	打込み杭工法 中掘り最終打撃	$1.5 W_H / W_P$	0.25	
PHC杭・SC杭	打込み杭工法	$2.0 W_H / W_P$	0.25	
	中掘り最終打撃	$4.0 W_H / W_P$	1.00	
鋼管杭 PHC杭・SC杭	打込み杭工法	$(1.5 W_H / W_P)^{1/3}$	0.25	油圧ハンマに適用

[道示 (下部) 18.9]

b. Hiley (ハイリー) の式

$$R_a = \frac{e_f \cdot W_H \cdot H \left\{ 1 - \frac{W_P}{W_H + W_P} (1 - e^2) \right\}}{S + \frac{1}{2} K}$$

- ここに、  
 $R_a$  : 打込み公式で求めた極限支持力 (kN)  
 $e_f$  : ハンマ効率 (ディーゼルパイルハンマ 0.7、ドロップパイルハンマ 0.5)  
 $W_H$  : ハンマ又ラムの重量 (kN)  
 $W_P$  : 杭の重量 (kN)  
 $H$  : ハンマの落下高さ (m)、ディーゼルパイルハンマでは 2H とする。  
 $S$  : 杭の貫入量  
 $K$  : リバウンド量 (m)  
 $e$  : 反ばつ係数(コンクリート杭 0.25、鋼杭 0.8、ヤットコを用いる場合はこの値の 80% とし、杭と同材質、同断面を用いるときは低減しなくてもよい。)

- c. 建設省告示 1623 号の式 建築基準法施行令式 [仮設工指針 参考資料-10]  
 ドロップハンマまたは、単動杭打ちハンマによる場合

$$R_a = \frac{2F}{5S + 0.1}$$

ここに、 $R_a$  : 杭の許容支持力 (kN)

$F$  : ハンマの打撃エネルギー (kN・m)

ドロップハンマの場合  $F = W_H \cdot H$

ディーゼルハンマの場合  $F = 2W_H \cdot H$

$W_H$  : ハンマの重量 (kN)

$H$  : ハンマ落下高 (m)

$S$  : 杭の最終貫入量 (m)

- d. Hiley (ハイリー) の簡略式 建築鋼杭基礎設計施工基準 (建築学会) [仮設工指針 参考資料-10]

$$R_{da} = \frac{efF}{S + \frac{1}{2}K}$$

ここに、 $R_{da}$  : 杭の動的極限支持力 (kN)

$ef$  : ハンマの効率、この公式では 0.5 とする。

$S$  : 杭の貫入量 (m)

ドロップハンマは最後の 5 回～10 回の打込みに対する 1 回当りの平均貫入量 (m)

他のハンマは最後の 10 回～20 回の打込みに対する 1 回当りの平均貫入量 (m)

$K$  : リバウンド量 (m)

$F$  : 打撃エネルギー (kN・m)

ドロップハンマ }  $F = W_H \cdot H$   
 単動スチームハンマ }

複動スチームハンマ  $F = (ap + W_H) \cdot H$

ディーゼルハンマ  $F = 2W_H \cdot H$

$H$  : ハンマの落下高 (m)

$W_H$  : ハンマの重量 (kN)

$a$  : シリンダーの断面積 (m<sup>2</sup>)

$p$  : 蒸気圧、空気圧 (kN/m<sup>2</sup>)

- e. 基礎杭の支持力確認

動的許容支持力が設計支持力以上であることを確認を行う。

○参考文献

基準等の略称	参考文献	年月	監修・編集・発行等
河川砂防（設Ⅰ）	改訂建設省河川砂防技術基準（案）設計編（Ⅰ）	H9.10	（社）日本河川協会
杭基礎便覧	杭基礎設計便覧	H27.3 (H4.10)	（社）日本道路協会
基礎地盤便覧	建設基礎・地盤設計施工便覧	S62.3	（株）建設産業調査会
道示（下部）	道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編	H24.3	（社）日本道路協会
道示（耐震）	道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編	H24.3	（社）日本道路協会
仮設工指針	道路土工 仮設構造物工指針	H11.3	（社）日本道路協会