7　基　　礎　　工

7 基　　礎　　工

7－1　一　　般……設、基－1
7－1－1　基礎工の形式……設、基－1
7－1－2　基礎工の選定……設、基－1
1　形式の選定……設、基－1
2　直接基礎工の適用……設、基－3
3　杭基礎工の適用……設、基－3
7－1－3　基礎設計条件……設、基－4
1　設 計 荷 重……設、基－4
2　安 定 条 件……設、基－4
3　基礎工の変位量……設、基－4
7－1－4　設計地盤面……設、基－5
7－1－5　基礎の安定……設、基－6
1　地盤定数一般……設、基－6
2　地盤の諸定数……設、基－6
3　地盤反力係数……設、基－7
4　地盤反力度及び変位の計算……設、基－7
7－1－6　根入れ条件……設、基－7
7－2　直接基礎工……設、基－8
7－2－1　設 計 条 件……設、基－8
1　鉛直地盤反力、せん断地盤反力及び水平支持力……設、基－8
2　設 計 計 算……設、基－8
7－2－2　荷 重 分 担……設、基－8
1　鉛 直 荷 重……設、基－8
2　水 平 荷 重……設、基－8
7－2－3　許容鉛直支持力……設、基－8
7－2－4　滑動抵抗力……設、基－11
1　せん断抵抗力の計算……設、基－11
2　突起を設けた場合のせん断抵抗力の計算……設、基－12
7－2－5　フーチングの設計……設、基－12
1　フーチングの厚さ……設、基－12
2　曲げモーメント……設、基－13
3　せ ん 断 力……設、基－13
4　突起の設計……設、基－13

７－２－６　基 礎 底 面……設、基－14
１　基礎底面の処理……設、基－14
２　埋戻し……設、基－14
３　置換えコンクリート基礎……設、基－14
７－３　杭 基 礎 工……設、基－14
７－３－１　設 計 条 件……設、基－14
１　一　　般……設、基－14
２　根　入　れ……設、基－15
３　設 計 手 順……設、基－15
４　杭とフーチングの結合……設、基－15
７－３－２　荷 重 分 担……設、基－19
７－３－３　杭 の 配 列……設、基－19
１　杭の中心間隔……設、基－20
２　群杭の考慮……設、基－20
７－３－４　杭の許容支持力……設、基－20
１　軸方向許容押込み支持力……設、基－20
２　軸方向許容引抜き力……設、基－20
３　許容変位量……設、基－20
４　負の周面摩擦力……設、基－20
７－３－５　杭　反　力……設、基－21
７－３－６　杭本体の設計……設、基－21
１　基 本 条 件……設、基－21
２　杭基礎工完成後の荷重に対する設計……設、基－21
３　杭断面の計算……設、基－21
４　継　　手……設、基－22
５　構 造 細 目……設、基－22

7 基　　礎　　工

7－1　一　　般

橋梁、擁壁、排水施設等は、安定的な地山基礎で直接支持するのが望ましいが、構造物の構造、基礎地盤の安定性又は経済性等から直接支持できない場合は、上部構造の荷重を効果的に基礎地盤に伝達分布させるため基礎工を設ける。

7－1－1　基礎工の形式

基礎工の形式は、直接基礎、杭基礎を原則とする。

7－1－2　基礎工の選定

杭の工法の選定に当たっては、地形及び地質条件、構造物の特性、荷重条件、施工条件、環境条件等を考慮し決定する。

1　形式の選定

基礎工の形式は表７－１－１に各基礎形式の特徴を示すので基礎形式選定の参考とする。

7－1－1　基礎形式選定表

選定条件 ＼ 基礎形式			直接基礎	打込み杭基礎				中掘り杭基礎						鋼管ソイルセメント杭基礎	プレボーリング杭基礎	場所打ち杭基礎				ケーソン基礎		鋼管矢板基礎	地中連続壁基礎
						鋼管杭		PHC杭・SC杭			鋼管杭												
				RC杭	PHC杭・SC杭	打撃工法	ハンマ工法	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			オールケーシング	リバース	アースドリル	深礎	ニューマチック	オープン		
地盤条件	支持層までの状態	中間層に極軟弱層がある	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○
		中間層に極硬い層がある	○	×	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△	○	○	△	△	○
		中間層にれきがある　れき径　50mm以下	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		中間層にれきがある　れき径　50～100mm	○	×	△	△	○	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○	△	○	○	○	△	○
		中間層にれきがある　れき径　100～500mm	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	○	○	△	×	△
		液状化する地盤がある	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	支持層の状態	支持層の深度　5m未満	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×
		支持層の深度　5～15m	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	△	△
		支持層の深度　15～25m	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		支持層の深度　25～40m	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○
		支持層の深度　40～60m	×	×	△	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○	△	○	×	×	△	○	○	○
		支持層の深度　60m以上	×	×	×	△	△	×	×	×	×	×	×	△	△	×	△	×	×	×	△	△	△
		支持層の土質　粘性土（20≦N）	○	○	○	○	○	○	×	△	○	×	△	△	×	○	○	○	○	○	○	○	○
		支持層の土質　砂・砂れき（30≦N）	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		傾斜が大きい（30度程度以上）	○	×	△	○	○	△	△	△	○	○	○	△	△	○	△	△	○	○	△	△	△
		支持層面の凹凸が激しい	○	△	△	○	○	△	△	△	○	△	△	△	△	○	○	○	○	○	△	△	○
	地下水の状態	地下水位が地表面近い	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○
		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	×	○	○	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	△	○	×
構造物の特性	荷重規模	鉛直荷重が小さい（支間20m以下）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	△	×	×
		鉛直荷重が普通（支間20m～50m）	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		鉛直荷重が大きい（支間50m以上）	○	×	△	○	○	△	△	△	○	○	○	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○
		鉛直荷重に比べ水平荷重が小さい	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△
		鉛直荷重に比べ水平荷重が大きい	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	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		／	△	○	○	○	×	×	×	△	△	△	△	×	△	×	×	×	／	／	／	／
	有害ガスの影響		△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○
	周辺環境	振動騒音対策	○	×	×	×	△	△	○	○	△	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	△	○
		隣接構造物に対する影響	○	×	×	△	△	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	○

○：適合性が高い　△：適合性がある　×：適合性が低い

2　直接基礎工の適用

直接基礎工は、基礎地盤の反力を分布させるものとし、フーチングを原則として、次のように区分して用いる。

1)　ラーメン又は柱構造及び構造上橋軸直角方向にステップを要する橋台又は橋脚の場合は、全周にステップを持つフーチングとする。

2)　排水施設、擁壁及び通常の橋台又は橋脚の場合は、短辺方向にステップを持つフーチングとする。

3)　フーチングは、使用材料によって次のように区分する。

ア　次のような場合のフーチングは鉄筋コンクリートとする。

(1)　フーチングのステップの幅が、その厚さの１／２程度以上になる場合

(2)　フーチングの厚さに制約のある場合

(3)　フーチングを直接上部構造物の底版とする場合

イ　次のような場合は、礫などの石材を用いた置換基礎工とする。

(1)　躯体自重で安定する構造物の基礎工とする場合

(2)　コンクリート等のフーチングと設計地盤面の間に用いる場合

(3)　設計地盤面の滑動摩擦抵抗を増加させる場合

3　杭基礎工の適用

杭基礎の工法は、打込み杭、埋込み杭及び場所打ち杭とし、杭種は木材、各種コンクリート及び鋼材として、次のように区分して用いる。

1)　杭基礎の工法は、打込み杭を原則とするが、次のような場合は他の杭基礎工法を検討する。

ア　地層の傾斜が急な場合

イ　転石等の混入する地質で、杭が折損又は曲折するおそれのある場合

ウ　先端閉塞杭の場合は、細砂又はシルト等によるリバウンドの大きい地盤の場合

エ　振動又は騒音の規制を受ける場合

オ　直径が1.0m程度以上の場合

2)　打込み杭の適用できない場合は埋込み杭を用いる。ただし、被圧水を持つ砂層又は転石の多い地盤については、十分な検討を行う。

3)　直径1.0m程度以上又は埋込み杭の適用できない場合は、場所打ち杭を用いる。ただし、被圧水を持つ砂層、低水位の砂礫層、傾斜地層、転石のある地盤又は地下水流のある地盤については、十分な検討を行う。

4)　打込み杭に使用する材料は次によって区分する。

ア　木杭は常時湿潤な地盤で、末口径30cm以下及び杭長２～５m程度で支持できる場合に使用する。

イ　各種コンクリート杭は、原則として杭長10～12m程度以下で大型車等で直接搬入できる場合に使用する。

ウ　木杭又は各種コンクリート杭の適用できない場合は、H形杭、鋼管杭又はＳＣ杭とし、それぞれの経済性によって使用する。

5)　埋込み杭に用いる材料は、木杭を除き打込み杭に準じて適用する。

7－1－3　基本設計条件

基礎設計条件は、基礎工の設計条件のうち、各種基礎工の形式、工法等に共通する設計荷重、安定条件、基礎工の変位量等についての基本的事項を示す。

1　設計荷重

1)　基礎工にかかる設計荷重は、上部構造物に適用した荷重及び基礎工自体に作用する荷重とする。

ア　上部構造物に適用した全荷重は、全ての基礎工に適用する。

イ　自重を主体とした死荷重は、全ての基礎工に適用する。

ウ　土圧は橋台、擁壁、排水施設の基礎工に適用する。

エ　水圧又は揚圧力は、地下水位以下に設ける基礎工に適用する。

オ　浮力は、基礎地盤に間隙水が存在する基礎工に適用する。

カ　コンクリートのクリープの影響、乾燥収縮の影響、温度変化の影響、風荷重、地盤変動の影響、波圧、衝突荷重、施工時荷重等は、特別な場合のほかは適用しない。

2)　基礎工の設計に当たっては、常時の荷重と地震時の荷重に区分し、地震時においては活荷重及び衝撃は作用しない。

2　安定条件

基礎は支持・転倒・滑動に対して安定でなければならない。

なお、地震時に対する基礎の設計は地震時保有水平耐力法による耐震設計を行う。

表７－１－２

項　　目	支　持　力		転　倒	滑　動	水平変位
基　礎　形　式	鉛　直	水　平			
直　接　基　礎	○	(○)	○	○	－
杭　基　礎	○	－	－	－	○

注：(　) は根入れ部分で荷重を分担する場合

3　基礎工の変位量

1)　基礎の変位の計算は、各種の地盤調査、土質試験の結果を十分に検討したうえで、地盤の種類に応じて適切に行う。

2)　基礎の変位には短期荷重および長期荷重による即時変位量と、持続荷重により長期にわたり増加する変位量がある。

3)　即時変位量とは基礎に作用する荷重により瞬時に生じる変位であり、地盤反力係数や地盤反力度の上限値を用いて求める。持続荷重により、長期にわたり増加する変位には圧密沈下量とクリープ変位量があるが、一般にはクリープ変位量は小さいと考えられるので、考慮しなくてもよい。

4)　基礎の変位は、基礎幅、荷重面からの応力の及ぶ範囲内の地盤の状況などによって左右される。変位を計算するためには、できれば基礎幅の３倍程度の深さまで、地盤の状況を把握しておく必要がある。

5)　基礎の許容変位としては、次に示す変位を考慮する必要がある。

ア　上部構造から決まる許容変位：上部構造に有害な影響を及ぼさないように基礎の変位を制限する値であり、不静定構造物の場合や静定構造物でも橋脚天端や支承位置での変位が与えられた場合の値に相当する。

イ　下部の構造から決まる許容変位：基礎の水平変位を残留変位が大きくなく、工学的に弾性挙動として評価できる範囲におさめる意味で規定しているのが下部の構造から決まる許容変位である。

7－1－4　設計地盤面

基礎工設計の基準となる設計地盤面は、原則として常時及び地震時とも同一地盤面として、次によって決定する。ただし、ごく軟弱な粘性土層及びシルト質土層などの土質定数を零とする土層がある場合は、耐震設計上の地盤面をその層の下面に設定する。

1)　流水又は雨水等による将来の変動を見込んだ地盤面

2)　沖積層の粘性土層のように体積変化を生ずる土層にあっては、圧密沈下又は膨張等による変化量を最小限にとどめ得る地盤

3)　凍結融解又は乾湿の繰返し等による季節的な変化を受ける深さ以下の地盤

7－1－5　基礎の安定

1　地盤定数一般

基礎の設計に用いる諸定数は、次のように分類できる。

土の物理的性質：粒度、間隙比、単位重量、コンシステンシー等

土の力学的性質：粘着力、せん断対抗角、変形係数、圧縮指数、圧密係数、圧密降伏応力等

2　地盤の諸定数

基礎工の設計に用いる地盤の諸定数は、原則として土質調査の結果を総合的に判断して決めるものとするが、直接基礎工又は木杭等の基礎工にあっては、次の表の値を用いることができる。

1）砂質地盤又は粘性土地盤にあっては、次表を参考にしてN値を求める。

なお、直接基礎の場合、N値が粘性土層で20程度以上、砂層･砂れき層で30程度以上あれば良質な支持層と考える。

表７－１－３

区分 / 基礎地盤の種類		許容支持力（kN／㎡） 常時	許容支持力（kN／㎡） 地震時	N値	一軸圧縮強度 qu（kN／㎡）
砂質地盤	密なもの	300	450	30～50	－
	中位なもの	200	300	20～30	－
粘性土地盤	非常に硬いもの	200	300	15～30	200～400
	硬いもの	100	150	10～15	100～200

注１　砂質地盤のN値が15以下の場合は、適切な処置を検討する。

２　砂質地盤の密なものとは、直径13㎜の鉄棒を５ポンドハンマーで打撃すると30㎝程度貫入するもの、中位なものとは鉄棒が容易に貫入するものとして判断することができる。

３　粘性土地盤の非常に硬いものとは、親指のつめで傷を付けることが難しい程度のもの、硬いものとは、親指のつめで容易に傷が付けられる程度のものとして判断することができる。

2）　土の単位体積重量は18kN／㎥を標準とするが、地下水位以下にある場合は９kN／㎥とする。

3）　粘性土の粘着力は、土の内部摩擦角と一軸圧縮強度又はN値から、次式によって求めることができる。

$$C = \frac{q_u}{2} \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) = \frac{N}{16} \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

ここに　C　：粘着力(kN／㎡)

ただし、φ＝０の場合は、C＝６N～10Nとする。

φ　：内部摩擦角（度）

qu　：一軸圧縮強度(kN／㎡)

N　：N値は表７－１－３によることができる。

4）Ｎ値が５を超える場合の砂質土の内部摩擦角は、次式によって求めることができる。

$\phi = 15\sqrt{(15N)} \leqq 45^\circ$

ここに　ϕ　：内部摩擦角（度）

Ｎ　：Ｎ値は表７－１－３によることができる。

5）鉛直方向地盤反力係数又は横方向地盤反力係数等を推定する変形係数は、次式によって求めることができる。

$E_0 = 28N$

ここに　E_0　：±の変形係数（kN／㎡）

Ｎ　：Ｎ値は表７－１－３によることができる。

3　地盤反力係数

直接基礎の地盤反力係数は、底面の鉛直方向地盤反力係数、根入れ部前面の水平方向地盤反力係数および底面の水平方向せん断地盤反力係数とし、地盤調査、土質試験の結果を十分検討したうえで定める。

4　地盤反力度及び変位の計算

1）直接基盤底面における鉛直地盤反力度およびせん断地盤反力度は、原則として基礎を剛体とし、地盤を弾性体として算出する。

2）基礎底面の弾性変位量は、原則として基礎を剛体とし、基礎底面の鉛直方向地盤反力係数および水平方向せん断地盤反力係数を用いて算出する。

3）圧密沈下量は、基礎底面から基礎最小幅の３倍の深さの間に圧密を生じさせる粘性土層が存在する場合に算出する。

4）粘性土の圧密沈下量は、基礎に作用する荷重による地盤内の垂直応力の増分に対して、圧密降伏応力の大きさを考慮して求める。

7－1－6　根入れ条件

基礎工の根入れ深さは、地盤反力以上の許容支持力を有する地盤までの深さとするが、少なくとも設計地盤面を原則とする。

7－2　直接基礎工

7－2－1　設計条件

直接基礎工の設計条件は、基礎地盤の強度による要素とその地盤固有の変形性状が、ともに基礎として許容し得る限界内にあるよう、基礎工の基本設計条件のほか、鉛直地盤反力、せん断地盤反力及び水平支持力等を示すものとし、直接基礎工の設計は、これらの設計条件に基づき行う

1　鉛直地盤反力、せん断地盤反力及び水平支持力

直接基礎工の鉛直荷重及び水平荷重は、原則として設計地盤面の地盤反力及びせん断地盤反力によって支持させるものとする。ただし、基礎工に接して安定した厚い支持層を確保できる場合は、根入れ部分で水平抵抗を分担させることができる。

1)　基礎底面地盤の許容鉛直支持力は、荷重の偏心傾斜および基礎の沈下量を考慮して定めるものとする。この場合、許容鉛直支持力は、基礎底面地盤の極限支持力に対して常時で３、地震時（震度法）で２以上の安全率を確保する。

2)　基礎底面地盤の許容せん断抵抗力は基礎底面と地盤との間に働くせん断抵抗力を常時においては1.5、地震時においては1.2の安全率で割った値とする。

3)　根入れ部分で水平荷重を分担させる場合の許容水平支持力は、土質試験の結果に基づいて算出した地盤の受働土圧に対して常時において1.5、地震時(震度法)のおいて1.1以上の安全率を確保する。

2　設計計算

設計計算は、基礎工の基本設計条件のほか擁壁の設計条件及び設計計算等に準じて行う。

7－2－2　荷重分担

1　鉛直荷重

直接基礎は通常、良好な地盤中に根入れされているが、側面の摩擦抵抗はあまり期待できないので、鉛直荷重は鉛直方向地盤反力のみで抵抗させる。

2　水平荷重

直接基礎の場合は通常、良質な支持層への根入れ深さはわずかであるので、水平荷重に対して根入れ部で抵抗させるのを原則として禁じ、基礎底面のせん断地盤反力のみで抵抗させる。ただし、安定した支持層を表層近くに確保できる場合には、根入れ部分に水平荷重を分担させてもよいこととするが、その場合は水平荷重の分担割合について検討する。

7－2－3　許容鉛直支持力

偏心荷重を受ける場合の直接基礎工の地盤の許容鉛直支持力は、擁壁の設計条件に示す基礎地盤の種類ごとの許容支持力度で求めることができるが、現地条件等によって判断し難い場合、荷重の偏心傾斜が大きい場合又は置換基礎等の場合にあっては、次に示す静力学公式によって求めることができる。

$$Q = \frac{Q_u}{F}$$

ここに　Q　：許容鉛直支持力（kN）

F　：安全率＝常時3.0、地震時2.0

Q_u　：極限支持力（kN）

$$= A'\left(\alpha \cdot k \cdot C \cdot N_c + k \cdot q \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot \beta \cdot B' \cdot N_r\right)$$

ここに　C　：地盤の粘着力＝７－１－５．２．3)の計算によることができる。

q　：上載荷重(kN／㎡)＝γ_2・D_f

ここに　γ_2　：基礎底面上の土の単位体積重量(kN／㎥)＝ 18（標準）

ただし、地下水位以下は水中単位重量：９（標準）

D_f　：基礎の有効根入れ深さ（m）

γ_1　：基礎底面下の土の単位体積重量(kN／㎥)＝ 18（標準）

ただし、地下水位以下は水中単位重量＝９（標準）

B'　：偏心を考慮した基礎の有効載荷幅（m）

：$B - 2e_B$

ここに　B　：基礎幅（m）

e_B　：基礎幅に対する荷重の偏心量（m）

k　：根入れ効果に対する割増係数

$$= 1 + 0.3\frac{D'_f}{B'}$$

ここに　D'_f　：基礎底面と同質程度に根入れした深さ（m）

A'　：有効載荷面積　（㎡）＝L'・B'

ここに　L'　：基礎長（m）

ただし、偏心が長さ方向の場合は、

$= L - 2e_L$ とする。

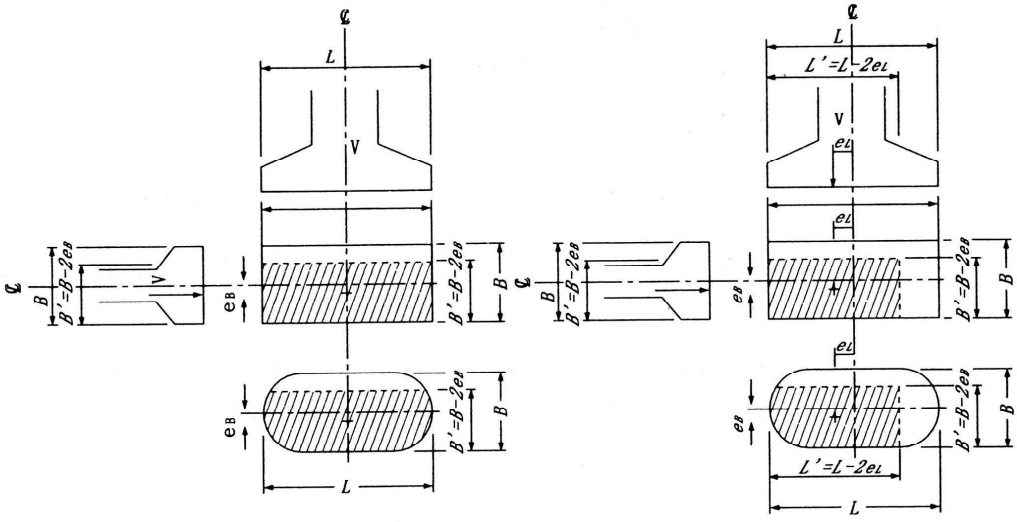
ここに　e_L　：長さ方向の偏心量（m）

表７－２－１

形状＼形状係数	α	β
帯　　状	1.0	1.0
正　方　形　・　円　形	1.3	0.6
長方形、楕円、小判形	$1 + 0.3\frac{B'}{L'}$	$1 - 0.4\frac{B'}{L'}$

注　ここに $\frac{B'}{L'} > 1$ の場合は、$\frac{B'}{L'} = 1$ とする。

図７－２－１



有効載荷面積

N_c ， N_q ， N_r ＝荷重の傾斜を考慮した支持力係数。地盤のせん断抵抗角 ϕ と、荷重の傾斜 θ から求められる

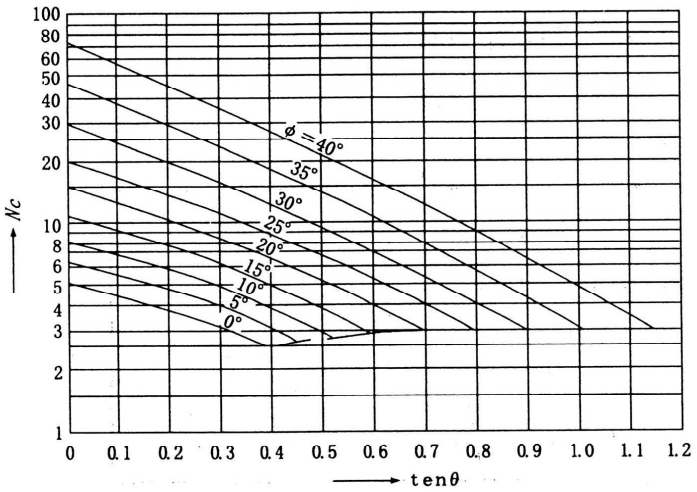
$$\tan\theta = \frac{H_B}{V}$$

V　　：基礎底面に作用する鉛直荷重（kN）

H_B　：基礎底面に作用する水平荷重（kN）

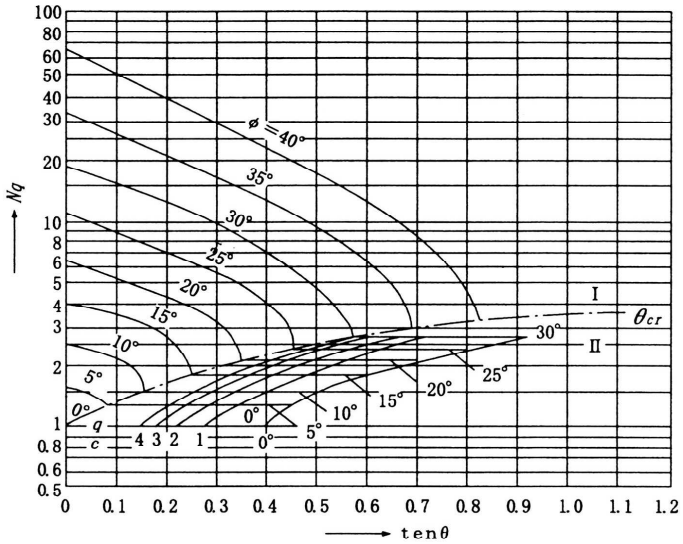
許容水平変位は、多数の載荷試験結果に基づき、基礎幅の１％とする。ただし、基礎幅が５ｍを超える大型の弾性体基礎の許容変位について5.0cmとすることができる。

図７－２－２

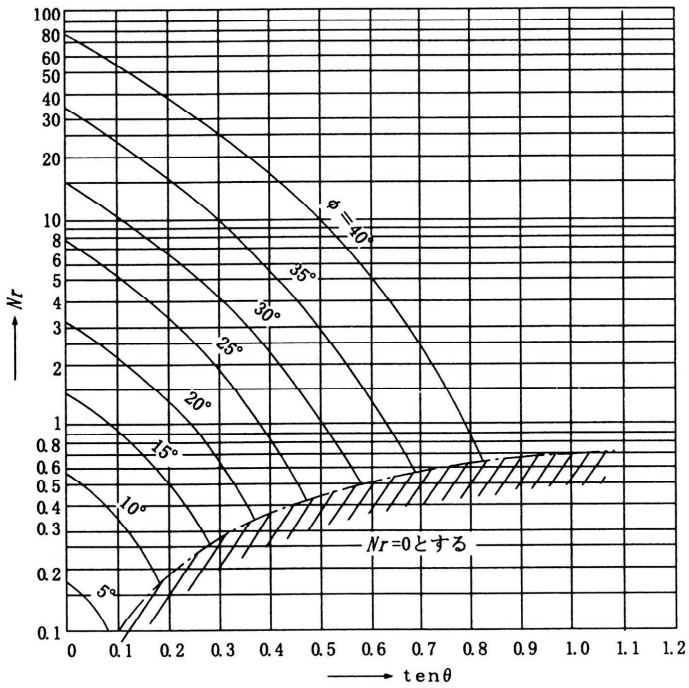


支持力係数 N_c を求めるグラフ

図７－２－２　グラフつづき



支持力係数 Nq を求めるグラフ



支持力係数 Nr を求めるグラフ

7－2－4　滑動抵抗力

直接基礎工の設計地盤面に働く滑動抵抗力は、原則として水平な基礎底面におけるせん断抵抗力に基づき計算するものとするが、根入れ部分又は基礎底面の突起による場合は、その水平抵抗力によってせん断抵抗力を分担する。

1　せん断抵抗力の計算

せん断抵抗力は、次式によって計算する。

$$H_u = N \cdot \tan\delta + C \cdot A'$$

ここに　H_u　　：基礎のせん断抵抗力（kN）

N　　：鉛直力（kN）

$\tan\delta$　：基礎工底面と基礎地盤の摩擦角の正接値：0.7（標準）

C　　：基礎工底面と基礎地盤の粘着力（kN／㎡）

＝$\tan\delta$を0.7とした場合は０とする。

A'　　：７－２－３の計算式の記号に同じ

2　突起を設けた場合のせん断抵抗力の計算

突起を設けた場合のせん断抵抗力は、突起部分で分担する水平抵抗力として、次式によって計算する。

$$H_u = (C \cdot A_1 + N_1 \cdot \tan\phi) + (N_2 + N_3)\tan\delta$$

ここに　H_u　＝基礎の水平抵抗力（kN）

A_1　＝有効載荷面積中の突起前方（仮想基礎底面）の底面積（㎡）

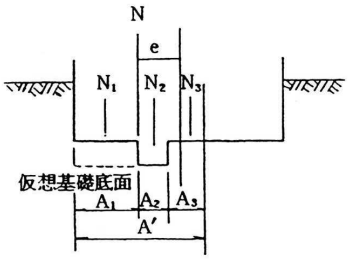
A_2　＝有効載荷面積中の突起の底面積（㎡）

A_3　＝有効載荷面積中の突起後方の底面積（㎡）

N_1　＝有効載荷面積中の突起前方の底面積に作用する鉛直荷重（kN）

$$= \frac{A_1}{A'} \cdot N$$

図７－２－3~~1~~



ここに　A'　＝７－２－３の計算式の記号に同じ

N　＝基礎に作用する鉛直荷重（kN）

N_2　＝有効載荷面積中の突起の底面積に作用する鉛直荷重（kN）

$$= \frac{A_2}{A'} \cdot N$$

N_3　＝有効載荷面積中の突起後方の底面積に作用する鉛直荷重（kN）

$$= \frac{A_3}{A'} \cdot N$$

ϕ　＝仮想基礎底面の内部摩擦角（度）

$\tan\delta \cdot C$＝７－２－４．１の計算式の記号に同じ

7−2−5　フーチングの設計

直接基礎工を主体とするコンクリートフーチングの設計は、躯体と一体化構造を原則とするが、片持ばり、単純ばり又は固定ばり等の部材として、フーチングの自重、土砂等の上載荷重、地盤反力等により、設計上最も不利な荷重の組合せを考慮して設計する。

1　フーチングの厚さ

フーチングの厚さは、原則として剛体として取り扱える寸法とし、フーチングの平均厚さが、その幅の１／５程度以上を標準とする。ただし、壁のあるフーチングの場合は、フーチング幅から壁厚を差し引いた値の１／５程度以上とする。

2　曲げモーメント

1)　フーチングの曲げをモーメントは片持ばりとし、長方形断面の柱又は壁状の場合はその前面並びに円形柱の場合は柱外面より柱直径の１/10だけ内側に入った位置の鉛直面を設計断面とする。

2)　設計断面における曲げモーメントは、柱又は壁の前面のフーチング全面積に作用する荷重によって生ずるものとする。

3)　曲げモーメントに対するフーチングの有効幅は、原則として次式によって求める。

$$b = t + 2d \leqq B$$

ここに　ｂ：有効幅（cm）

ｔ：躯体幅（cm）

ｄ：フーチングの有効高さ（cm）

Ｂ：フーチング全幅（cm）

3　せん断力

1)　柱又は壁におけるコンクリートの平均せん断応力度は、各接合部からフーチングの厚さの１／２の位置において照査する。

2)　せん断力に対するフーチングの有効幅は、原則としてフーチング全幅とする。

4　突起の設計

突起の設計は、基礎地盤が岩盤、密実な礫層の良質な地盤に適用するものとし、断面寸法等は次によって求めた値とする。

1)　突起の取付部の断面は、次式による水平力を基に、設計計算によって求める。

$$H_T = \{C \cdot A_1 + N_1 (\tan\phi - \tan\delta) + N_2 \cdot \tan\delta\} \cdot \frac{1}{F_s}$$

ここに　H_T　：突起に作用する水平力（kN）

F_s　：滑動に対する実安全率＝$\frac{H_u}{H}$＝1.5以上

ここに　H_u　＝基礎の滑動抵抗力（kN）

Ｈ　＝基礎工底面に作用する水平力（kN）

他の記号は、７－２－４の２の計算式に同じ。

2)　突起の必要高さは、次式によって求めた値を標準とする。

$$0.1 \leqq h / B \leqq 0.15$$

ここに　ｈ　：突起の高さ（ｍ）

Ｂ　：基礎幅（ｍ）

7－2－6　基礎底面

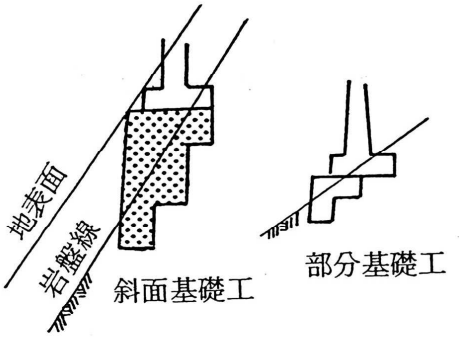
1　基礎底面の処理

直接基礎の滑動抵抗を十分に発揮させるため、基礎地盤の状態に応じた処理をする。

1)　砂地盤の場合は、割栗石、現地発生の良質な岩砕等を敷き並べて十分に締固め、基礎地盤を構築して設ける。

2)　岩盤の場合は、床堀を基礎底面で止めて基礎地盤を構築し、岩盤面を清掃して基礎を設ける。

3)　基礎に突起を設ける場合は、割栗石、岩砕で構築した基礎地盤を貫いて十分に支持地盤に貫入させる。



2　埋戻し

基礎部前面の埋戻しは、次によることを標準とする。

1) 基礎地盤が土砂である場合には、土砂で埋め戻して十分に締固める。

2) 基礎地盤が岩盤である場合には、コンクリートを充填する。

3) 基礎地盤が岩盤と土砂で構成される場合には、その割合に応じて土砂又はコンクリートにより埋戻す。

3　置換えコンクリート基礎

基礎地盤の傾斜が極めて急勾配で既定の基礎を構築すると構造物の高さが著しく高くなり、断面積も著しく厚くなる場合であって、他の構造物への変更等ができない場合には、次により置換えコンクリートを適用することができる。

1) 置換えコンクリート基礎の形状は、地盤層の傾斜に応じて段差を設ける。

2) 置換えコンクリート基礎の天端は、基礎地盤面より低い位置にとどめ、背面に土圧が作用しない岩盤に設置する。

3) 置換えコンクリート基礎と擁壁底面とは構造的に分離していると考え、転倒、支持力及び各部の応力については、置き換えコンクリート基礎天端に作用する擁壁底面からの荷重を考慮して擁壁に準じて行う。

7－3　杭基礎工

7－3－1　設計条件

杭基礎工の設計条件は､杭基礎の上部の構造物から伝達される鉛直荷重及び水平荷重等に対し、それぞれが許容値以下になるよう、基礎工の基本設計条件のほか、許容支持力、根入れ、設計手順等を示すものとし、杭基礎工の設計は、これらの設計条件に基づき行う。

1　一　　般

杭基礎工の設計に当たっては、次の条件を満足する。

1)　杭の許容押込み支持力が、杭頭に作用する軸方向押込み力以上である。

2)　杭の許容引抜き力が、杭に作用する引抜き抵抗力以上である。

3)　杭の許容変位は、上部構造物から決まる許容変位を考慮する。

4)　杭本体の構造が所定の強度を有する。

5)　杭の上部にフーチングを設ける場合は、フーチングの強度が所定以上である。

2　根　入　れ

1)　杭基礎はその支持機構において杭先端の支持力を考慮するかどうかにより支持杭と摩擦杭とに大別されるが、長期的な基礎の変位を防止するためには一般に支持杭が望ましい。

2)　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。

3)　良質な支持層が深い場合には、上部構造の形式や機能、荷重規模、施工性、経済性などを総合的に検討した上で、摩擦杭を採用してもよい。この場合においては、周面摩擦力により所定の支持力が得られる根入れ深さを確保した上で、中間層に根入れする。

3　設計手順

杭基礎工は次の手順によって設計する。

1)　杭種、杭径及び杭長を選定する。

2)　杭１本当たりの軸方向の押込み力及び引抜き力の各許容支持力を算定する。

3)　杭の配置を決定して杭頭の各反力と変位量を求め、算定した許容値以内であることを確かめる。

4)　杭の断面力に対する杭材の許容応力度から断面を決定する。

5)　杭頭、杭先端又は継手等の構造細目を決定する。

6)　杭頭反力によるフーチングを設計する。

4　杭とフーチングの結合

1)　杭とフーチングの結合部は原則として剛結するものとし、次の応力度について検討する。

ア　フーチングの垂直支圧応力度

イ　フーチングの水平支圧応力度

ウ　フーチングの押抜きせん断応力度

エ　フーチング端部の杭の水平方向の押抜きせん断応力度

2)　接合方法は次のいずれかによる。

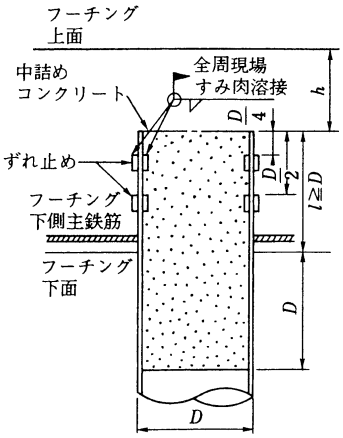
ア　方法Ａ：　フーチングの中に杭を一定長だけ埋込み、埋め込んだ部分によって杭頭曲げモーメントに抵抗する方法。杭頭部の埋込み長は、杭径以上とする。

なお、施工時杭の高止まり等により、ＰＨＣ杭をカットオフする場合はＰＣ鋼材の損失を考慮して、設計埋込み長あるいは抗体のＰＣ鋼材50φの大きい方を残してカットオフを行う。

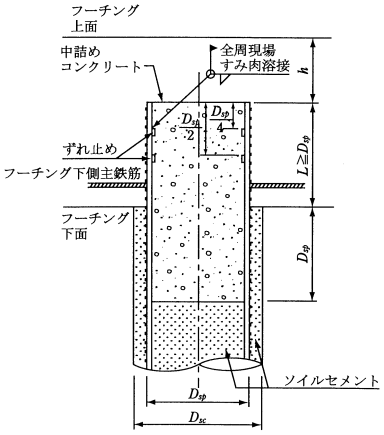
イ　方法Ｂ：　フーチング内への杭の埋込み長さは、最小限度に留め、主として鉄筋で補強することにより杭頭曲げモーメントに抵抗する方法。杭頭部の埋込み長は、100㎜とする。

これらの結合方法は、実験によりその強度、剛性、設計法の妥当性が確認されており、また施工実績も多く信頼性が高い方法である。

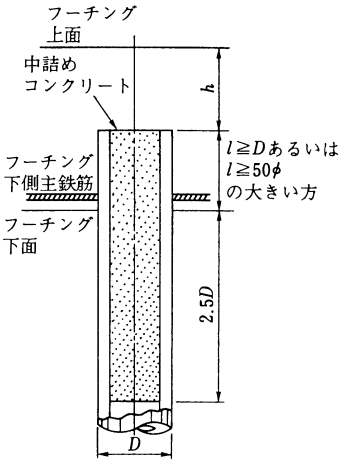
図７－３－１



鋼管杭方法Ａ

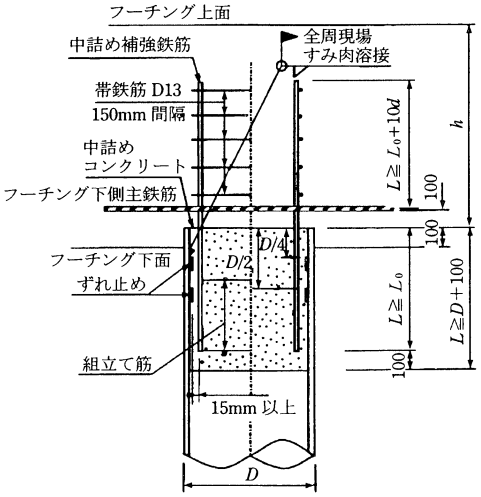


鋼管ソイルセメント杭方法Ａ

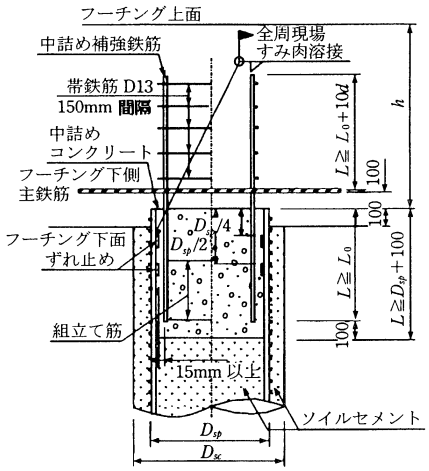


PHC 杭方法Ａ

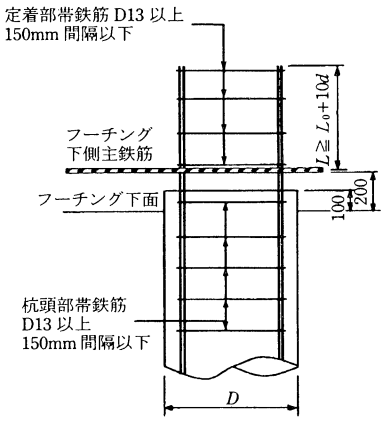
図７－３－１－①



鋼管杭方法 B



鋼管ソイルセメント杭方法 B



場所打ち杭方法 B

3)　方法Ｂの杭頭補強鉄筋は**図-7-3-1-①**のように、$L \geqq L0 + 10d$以上まっすぐのばし定着する。
　ただし、既製杭においてフーチング厚がこの定着により必要以上厚くなる場合は、場所打ち杭方法Bのようにフーチング上面主鉄筋位置で直角に曲げてよい。

4)　中詰めコンクリートは、フーチング用鉄筋の配筋前に単独で打設するのを原則とする。

5)　鋼管杭の杭頭結合においては、杭の軸方向力を中詰めおよびフーチングコンクリートを介して確実に伝達するために、杭の内外面に現場溶接ずれ止めを取付ける。

ア　杭体内外のずれ止めは表７－３－１に示す肉厚で２段取付けるのを標準とする。

イ　ずれ止めの幅は肉厚の２倍以上とする。

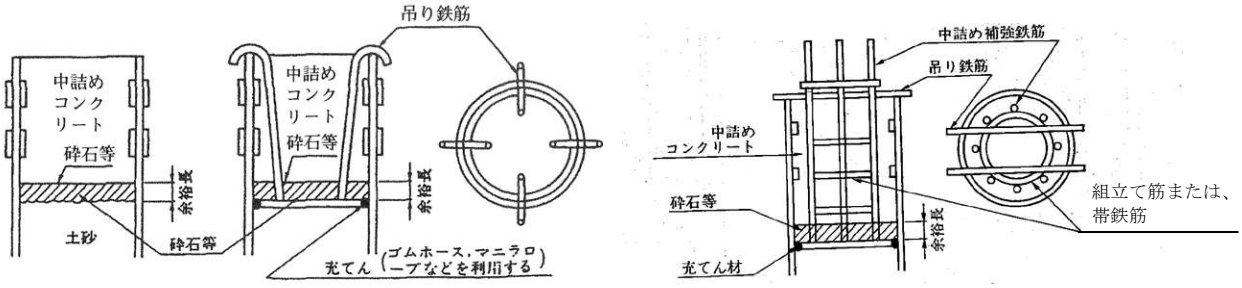
ウ　ずれ止めの現場溶接は、その施工性を考慮して、ずれ止め上面の全周すみ肉溶接とする。
　このとき、溶接サイズは一般にずれ止め厚さに等しくする。

表７－３－１

杭　　径（mm）	ずれ止め厚さ（mm）
800未満	9
800以上～1200未満	12
1200以上～1500未満	16

6）中詰めコンクリート打設方法には、図７－３－２に示すような方法があるが、地盤の状態、杭径、施工性などを考慮する。

図７－３－２

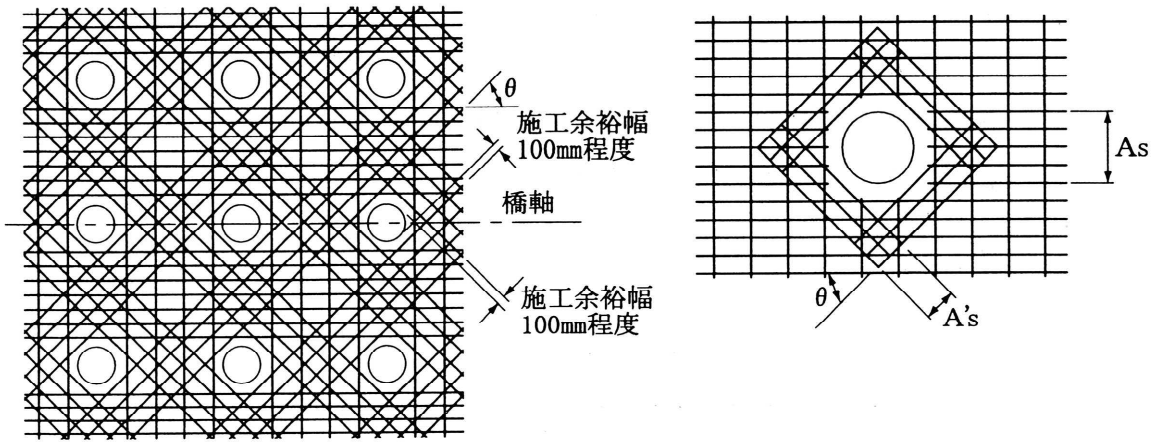


a)土砂充てん法　　b)吊り型わく法
（方法Ａに適用）

c)補強鉄筋型枠わく法
（方法Ｂに適用）

7）Ａ方法の結合で杭によってフーチング下側鉄筋が切断される場合は、斜めに補強鉄筋を行うことを標準とする。ただし、杭間隔が広い場合、または杭配置の関係からやむを得ず施工性を考慮する場合は、井桁補強とする。

図７－３－３



斜めに入れた主鉄筋は次の断面が有効となる。

$$A_{ste} = A'_{st} \cdot \cos\theta$$

ここに　Aste　：有効断面積（㎠）

A'st　：斜めに入れた主鉄筋の断面積（㎠）

θ　　：図に示す角度

フーチングの断面計算はAsを除いて行い、なおかつ次の鉄筋量を補強する。

$$A'_s = 1/2 \cdot A_s/\cos\theta$$

（θは通常45度）

（ａ）斜め補強　　（ｂ）井桁補強

7－3－2　荷重分担

杭基礎に係る鉛直荷重及び水平荷重は杭のみで支持させるのを原則とするが、杭とフーチング根入れ部分とで共同して分担させる場合は次のとおりとする。

1)　フーチング根入れ部分の水平方向地盤反力係数が地表面からの深さに比例し、水平地盤反力は放物線分布する場合、この場合、根入れ部下端の反力度が抵抗土圧強度を上回らないことを確認する。

2)　地震時保有水平耐力法により杭基礎を設計する場合において、フーチング前面の地盤が長期的に安定して存在しており、また良質で設計上水平抵抗を期待できる場合には、フーチング前面抵抗を考慮してよい。この場合、埋め戻された地盤は原地盤以上の強度を持たせる。

7－3－3　杭の配列

1)　杭の沈下は、一般に載荷試験によって求めるが、短時間の試験結果で長期の沈下を予測することは困難であり、良質な地盤に施工される杭の場合でも長期の持続荷重に対しては均等な荷重を受けるように配列する。

2)　杭中心間隔が大きくなったり、杭径に比べてフーチングの厚さが小さい場合、フーチングを剛体とみなせなくなることがあるので、その場合は荷重分担を考慮して杭の配列を決定する。

3)　杭は、次のように配列する。

ア　杭は２列以上配列するのが好ましい。

イ　斜め杭は、原則として直杭と組合わせて配列するものとし、その傾斜角は15°以下とする。

ウ　圧密沈下を生ずる地盤又は場所打ち杭にあっては、原則として斜め杭は用いない。

4)　各杭に等しい鉛直荷重及び水平荷重を考慮する場合の直杭の配列は、次によって計算することができる。

ア　$q_2 > 0$ で $q_1 > q_2$ の場合

$$\ell_i = \ell \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{q_1}{q_2} - 1\right)^2} + \frac{2i-1}{2n} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{q_1}{q_2}\right)^2}}$$

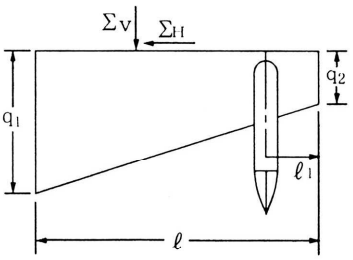
ここに　ℓ_i　：ｉ番目の杭の位置（m）

ℓ　：フーチングの幅（m）

$q_1 \cdot q_2$　：フーチングの地盤反力(kN／m²)

i　：算定対象の杭の順番番号

n　：杭の本数



イ　$q_2 = 0$ の場合

$$\ell_i = \ell \sqrt{\frac{2i-1}{2 \cdot n}}$$

ウ　$q_2 = q_1$ の場合

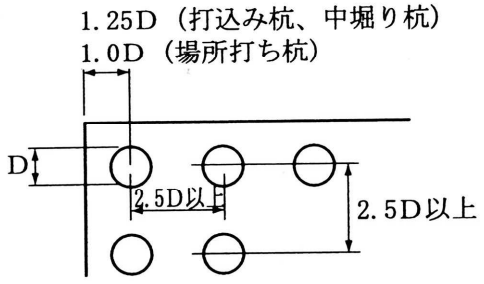
$$\ell_i = \ell \frac{2i-1}{2 \cdot n}$$

5)　杭の配置に当たっては、杭の押込み力と逆方向の引抜き力が作用しない位置を選定する。

1　杭の中心間隔

杭の中心間隔は、原則として杭径の2.5倍程度以上とするが、最外周の杭中心とフーチング縁端距離は、打込み杭及び埋込み杭の場合、杭径の1.25倍程度以上、場所打ち杭の場合は1.0倍とする。

図７－３－４



2　群杭の考慮

杭の中心間隔が杭径の2.5倍未満の場合は、群杭の影響を考慮する。

7－3－4　杭の許容支持力

杭基礎工の設計に当たっては、あらかじめ杭１本当たりの軸方向押込み力に対する許容押込み支持力、軸方向引抜き力に対する許容引抜き力を算定する。

1　軸方向許容押込み支持力

杭１本当たりの軸方向許容押込み支持力は、極限引抜き力、杭の有効重量及び次の安全率を基に計算する。

表７－３－２

種類 / 区分	支持杭	摩擦杭
常時	3	4
地震時	2	3

2　軸方向許容引抜き力

杭１本当たりの軸方向許容引抜き力は、極限支持力、杭の有効重量及び安全率を基に計算する。

なお、安全率は、常時6.0及び地震時3.0を標準とする。

3　許容変位量

許容される杭頭の基準変位量は杭径の１％を標準とするが、杭径1,500㎜以下の杭については、これまでの実績を考慮して15㎜とする。

4　負の周面摩擦力

圧密沈下を生ず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を行う。

7－3－5　杭　反　力

杭基礎は、上部構造から作用する荷重に対して、杭頭に生ずる反力が杭の許容支持力以内であるとともに、上部構造から決まる杭頭の許容変位量を超えないよう杭の配置及び本数を決定する。また、杭頭に作用する杭軸方向力、杭軸直角方向力及びモーメントは、簡略法、変位法等によって計算する。

7－3－6　杭本体の設計

杭基礎工を構成する杭本体は、許容値以内の軸方向力、モーメント及び変位量を基に、杭各部の応力度を算定し、部材の各許容応力度以内であることを確かめて構造を決定する。

1　基本条件

杭本体の設計上の基本条件は次のとおりとする。

1)　軸方向押込み力に対して、全長を地中に埋込む杭は、原則として短柱として設計する。

2)　軸方向引抜き力に対して、引張部材として設計する。

3)　軸直角方向力及び杭頭モーメントによる杭各部の曲げモーメント並びにせん断力は、杭体を弾性床上のはりとして求める。

2　杭基礎工完成後の荷重に対する設計

杭基礎工完成後の荷重による杭の設計は、杭軸直角方向及び杭をフーチングに固定した場合に生ずる杭頭のモーメントに対して、杭を弾性床上のはりと仮定して計算する。

1）杭断面の計算に必要な杭本体各部の曲げモーメント、せん断力等は、半無限長はり又は有限長はりについて計算する。

2）杭本体の曲げモーメントは、次によって検討する。

ア　杭頭部の曲げモーメントは杭頭固定の場合、杭反力の計算法で算出される杭頭の曲げモーメントとするが、杭頭をヒンジと考えた地中部最大曲げモーメントの値より大きいことを原則とする。

イ　杭中間部は、杭頭固定であっても、杭頭ヒンジと仮定した曲げモーメントと比較して大きい方を用いる。

3　杭断面の計算

杭断面の計算は、軸方向力のみが作用する場合の杭と軸方向力及び曲げモーメントが同時に作用する場合の杭に区分して行う。

1)　軸方向のみが作用する場合の杭は、次の条件を満足する。

$$\sigma = \frac{P}{A} \leqq \sigma_{ca}$$

ここに　σ　：杭に生ずる鉛直応力度(kN／㎡)

P　：軸方向押込み力(10N)

A　：杭の有効断面積(㎠)

σ_{ca}　：杭材の許容圧縮応力度(kN／㎡)

2)　軸方向力及び曲げモーメントが同時に作用する場合の杭は、次の条件を満足する。

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z} \leqq \sigma_a$$

ここに　σ　　：杭に生ずる曲げ応力度(kN／㎡)
　　M　　：曲げモーメント(kN･m)
　　Z　　：杭の有効断面係数(㎤)
　　σ_a　：杭材の許容曲げ応力度(kN／㎡)

4　継　　手

継手を設ける場合は次によって設計する。なお、各種コンクリート打込み杭は原則として継手を設けないことが望ましい。

1)　継手部は本体と同様に、杭の各反力に対して安全であるように設計する。

2)　継手の位置は、曲げモーメントのなるべく小さい箇所とし、杭本体の全強に相当する強度を持たせる。

3)　水位の変動又は有害物等を含む部分を避けた位置とする。

5　構造細目

1)　各種コンクリート杭は、ＪＩＳに適合した規格品とし、杭先端及び頭部は打込みに対して十分安全な強度を有すること。

2)　場所打ち杭の構造は次を標準とする。

ア　場所打ち杭の直径は、深礎工法にあっては140cm以上で10cm単位増及びその他の工法は80cm以上で10cm単位増とする。

イ　軸方向鉄筋のかぶり最小寸法は、深礎工法で山留め材埋設の場合は10cm、撤去の場合は25cm及びその他の工法にあっては15cmとする。

ウ　軸方向主鉄筋は直径22mm以上の異形鉄筋を６本以上使用する。

3)　鋼管杭は、ＪＩＳに適合した規格品とし、その構造の細目は次を標準とする。

ア　鋼管杭の各部の厚さは、強度上必要な厚さに腐食による減厚１㎜を加えたものとし、最小を９㎜以上とする。

イ　鋼管杭の現場継手は、原則として継手金具を用いたアーク溶接継手とし、全周全厚突合せ溶接とする。

ウ　杭頭及び杭先端が､打込み又は障害物などにより有害な損傷を受けるおそれのある場合は、必要に応じて補強する。