

建築構造計算指針

第 8 章

基礎構造

2000年9月

第8章 基礎構造SWG (2000年3月)

[2000年3月]

主 査	梅野 岳	副主査	近藤豊史						
幹 事	小椋 仁志	斎藤喜一郎	沢田 博	常木 康弘	野村 進	藤原 薫	堀井昌博		
	三町 直志	山本 哲夫							
委 員	今野 知則	竹内 正美	林 敏行	北後 寿	間瀬 惇平	松尾 雅夫			

目 次

1 . 総論	8- 1
2 . 適用範囲	8- 1
3 . 敷地地盤の安定性	8- 1
3.1 液状化判定	8- 1
3.2 傾斜地盤	8- 1
4 . 直接基礎の設計	8- 1
4.1 基本事項	8- 1
4.2 検証方法	8- 2
4.3 基礎スラブの設計	8- 3
5 . 杭基礎の設計	8- 4
5.1 基本事項	8- 4
5.2 鉛直支持力の検証	8- 4
5.3 引抜き抵抗力の検証	8- 6
5.4 使用限界状態における杭の許容沈下量、変形角の限界値	8- 6
5.5 水平抵抗力の検証	8- 6
5.6 杭体の断面設計	8- 7
5.7 杭頭接合部の設計	8- 8
5.8 パイルキャップの設計	8-11
6 . その他の基礎の設計	8-13
6.1 異種の基礎形式の併用基礎	8-13
6.2 地盤改良工法	8-13
参考文献	8-13
付録1 杭基礎における沈下量の算定	8-15
付録2 地盤の非線形性と杭頭の固定度を考慮した杭の応力と変形	8-16
付録3 P H C 杭の終局N - M関係の計算条件と計算方法	8-16
付録4 P H C 杭の終局せん断耐力の検討式	8-18
付録5 杭頭接合部の種類	8-19
付録6 杭頭部の塑性回転性能を期待する一設計法	8-20

第8章 基礎構造

1. 総論

本章では、建築構造設計指針(ガイドライン)「第7章 7.1 基礎の設計」に準拠して、基礎構造を設計する上で必要な構造計算に関する事項を示す。

2. 適用範囲

- (1) ここで対象とする基礎構造とは、建物各部に作用する荷重・外力を支持地盤に伝達する構造部材で、直接基礎における基礎スラブ、杭基礎におけるパイルキャップ、杭頭接合部、杭体等とする。また、支持地盤の鉛直支持力増強を目的とする地盤改良なども取り扱う。
- (2) 使用材料と材料定数は、各節に特記するもののほか、「第2章鉄筋コンクリート構造」、「第4章金属構造」等による。

3. 敷地地盤の評価

3.1 液状化判定

- (1) 液状化判定は、日本建築学会「建築基礎構造設計指針」(1988年版)に示された方法^{1)、2)}等による。
- (2) 液状化が生じる恐れがあると判定された場合には、その影響を考慮して基礎の設計を行うか、または地

盤改良等によりその発生を防止する。

3.2 傾斜地盤

傾斜地盤中の敷地においては、周辺を含む地盤のすべり破壊等に関する安定性を確認する。

4. 直接基礎の設計

4.1 基本事項

- (1) 直接基礎の目標性能は、表8.1に示すとおりとする。
- (2) 荷重の組合わせは、本マニュアル第1章による
- (3) 直接基礎の設計に際しては、周辺環境への影響に配慮し施工性に留意した設計とする。
- (4) 基礎底面の位置は、凍結・融解による土の体積変化の恐れや、雨水などによる洗掘の可能性がある深さとする。

表 8.1 各限界状態における目標性能

	目標性能	
	地盤	基礎
使用限界状態	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤に生じる応力度は使用限界状態検証用支持力度以下とする。 ・沈下量・変形角に制限値を設ける場合、各々はその規定値以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・浮き上りを生じさせない。
損傷限界状態	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤に生じる応力度は損傷限界状態検証用支持力度以下とする。 ・沈下量・変形角に制限値を設ける場合、各々はその規定値以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎部材に補強・修復が必要な損傷を起こさせない。 ・浮き上りは生じさせない。
安全限界状態	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤と基礎部材の変状により建築物が崩壊・転倒することにより人命を損なわない。 ・地盤の応力度は安全限界状態検証用支持力度以下とする。 ・沈下量・傾斜角に制限値を設ける場合、各々はその規定値以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎部材に生じる応力度は塑性を許容する。 ・保有水平耐力を算定する場合は基礎底面での滑り抵抗力と、地下外壁・基礎・基礎梁などによる水平地盤反力の総和を保有水平耐力として検討する。

4.2 検証方法

(1)地盤の鉛直支持力評価式

1)平板載荷試験を行う場合

各限界状態検討時の耐力は、下式により評価する。平板載荷試験は地盤工学会基準 JGS 1521-1995「地盤の平板載荷試験方法・同解説」に従って実施する。

$$\text{使用限界状態検証用支持力度} : q = q_t + 1/3 \quad {}_2D_f N_q$$

$$\text{損傷限界状態検証用支持力度} : q_d = 2q_t + 1/3 \quad {}_2D_f N_q$$

$$\text{安全限界状態検証用支持力度} : q_s = 3q_t + 1/3 \quad {}_2D_f N_q$$

q_t : 平板載荷試験による極限支持力度の 1 / 3。

${}_2$: 基礎底面より上方にある地盤の平均単位体積重量。

D_f : 基礎の根入れ深さ

N_q : 土の内部摩擦角の関数で表現される支持力係数 (文献 3)の値を用いる。)

2)平板載荷試験を行わない場合

各限界状態検討時の耐力は、以下の算定式により評価する。

$$\text{使用限界状態検討用支持力度} : q = 1/3(\quad c N_c + \quad {}_1BN + \quad {}_2D_f N_q)$$

$$\text{損傷限界状態検討用支持力度} : q_d = 2/3(\quad c N_c + \quad {}_1BN + 1/2 \quad {}_2D_f N_q)$$

$$\text{安全限界状態検討用支持力度} : q_s = \quad c N_c + \quad {}_1BN + 1/3 \quad {}_2D_f N_q$$

\quad : 形状係数 (文献 4)の値を用いる。)

c : 基礎底面地盤の粘着力

B : 基礎底面の最小幅

${}_1$: 基礎底面下にある地盤の単位体積重量

${}_2$: 基礎底面より上方にある地盤の平均単位体積重量

D_f : 基礎の根入れ深さ

N_c, N, N_q : 土の内部摩擦角の関数で表現される支持力係数 (文献 3)の値を用いる。)

(2)基礎の浮き上り抵抗力

基礎の浮き上り抵抗力としては基礎自重、埋め戻し土の重量及び当該位置に作用する柱軸力の総和とする。

(3)地盤の水平抵抗力

滑動に関しては次の基礎底面摩擦抵抗力を考慮する。

底面摩擦抵抗力

砂質土の場合 $R_H = \mu W$, $\mu = \tan$

粘性土の場合 $R_H = B_e q_u / 2$

R_H : 摩擦抵抗力

μ : 摩擦係数 ($\mu < 0.6$)

: 内部摩擦角

W : フーチング底面への鉛直圧力の合力

B_e : フーチング底面の接地圧が 0 の部分を除いた幅

q_u : 基礎底面の地盤の 1 軸圧縮強さ

(4)沈下量・変形角の規定

沈下量・変形角などの限界値は、日本建築学会「建築基礎構造設計指針」(1988年版)の値⁵⁾などを参考に、地盤の条件、基礎の形式、上部構造からの要求性能、周囲の状況および建築主の要求性能を合わせ考えて設定する。

水平変位の限界値は、設備配管などにおける外部引込み接続部分の限界変位などを考慮し適宜設定する。

(5)沈下量の計算

砂質土地盤については即時沈下量、粘性土地盤については圧密沈下量を、現地での地盤調査のデータを基に、日本建築学会「建築基礎構造設計指針」(1988年版)の計算式⁶⁾などを参考にして算定する。

4.3 基礎スラブの設計

(1) 独立フーチング基礎

1)基礎底面に作用する設計用接地圧は、直線的に分布するものと仮定し、基礎自重・埋戻し土の重量を含めた基礎への鉛直力及びその偏心距離から下式で算定し、支持力度の検討に用いる。

$$e = P/A$$

: 荷重の偏心と底面の形状によって、力とモーメントの釣り合い条件から決まる接地圧係数 (文献 7)の値を用いる。)

P : 基礎底面に作用する鉛直荷重。フーチング自重を含む

A : フーチングの底面積

2)基礎スラブは、底面の接地圧 (正)、埋め戻し土の重量 (負) を受ける片持ちスラブとして設計する。

(2) 布基礎

1)基礎スラブ底面に作用する設計用接地圧 e は、支配面積内において一様に分布するものと仮定し下式で算定し、支持力度の検討に用いる。

$$e = P_n / A_n$$

P_n : 各柱下の鉛直荷重、支配面積内のフーチング自重を含む

A_n : 各柱の支配面積、隣接柱までの距離の 1 / 2 の範囲をとる

2)基礎スラブは基礎梁からの片持ちスラブとして、また基礎梁部分は柱脚で支持された連続梁として求めた応力に対して設計する。

(3) べた基礎

1)べた基礎底面に作用する設計用接地圧 e は、柱単位の支配面積内において一様に分布するものと仮定

し下式で算定し、支持力度の検討に用いる。

$$e = P_n / A_n$$

P_n : 各柱下の鉛直荷重、支配面積内のフーチング自重を含む

A_n : 各柱の支配面積、隣接柱までの距離の 1 / 2 の範囲をとる

また、各柱軸力に著しい差異がある場合や位置により地盤の鉛直剛性に差異が認められる場合には、べた基礎を弾性支承上の格子梁架構にモデル化して接地圧分布を求める。

2)基礎スラブ部分は周辺が基礎梁で固定されたスラブとして、基礎梁部分は柱脚で支持された連続梁として求めた応力に対して設計する。

5. 杭基礎の設計

5.1 基本事項

(1) 杭基礎の設計に当たっては、構造安全性と使用性の目標性能を満足し、経済性や周辺環境への影響をはじめ、確実に施工でき信頼性のある杭工法を選定する。

(2) 杭基礎の目標性能は、表 8.2 に示すとおりとする。

表 8.2 各限界状態における目標性能

	目標性能	
	地盤	杭
使用限界状態	<ul style="list-style-type: none"> ・ 杭に作用する荷重は使用限界状態検証用支持力以下とする。 ・ 沈下量・変形角は必要に応じて設定した規定値以下とする。 ・ 杭に作用する引抜き力が、杭の使用限界状態検証用引抜き力以下。 	
損傷限界状態	<ul style="list-style-type: none"> ・ 杭に作用する荷重は損傷限界状態検証用支持力以下とする。 ・ 沈下量・変形角は必要に応じて設定した規定値以下。 ・ 杭に作用する引抜き力が、杭の損傷限界状態検証用引抜き力以下。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 杭体に生じる応力は損傷限界強度以下とする。
安全限界状態	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤に作用する荷重は極限支持力以下とする。 ・ 沈下量・傾斜角は設定する規定値以下。 ・ 杭に作用する引抜き力が、杭の極限引抜き力以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 杭基礎構造に作用するせん断力は杭基礎構造の保有水平耐力以下とする。

(3) 荷重の組合わせは、本マニュアル第 1 章による。

(4) 杭の中心間隔は、群杭効率などを考慮して決定する。

5.2 鉛直支持力の検証

(1) 極限支持力

1) 杭の載荷試験による方法

杭の載荷試験は、実際の杭に荷重を加えて支持力を確認するため、支持力の決定方法としては信頼性が高い。従って、適正な支持力の決定を行うに当たっては、載荷試験によることが望

ましい。杭の鉛直載荷試験は、地盤工学会基準 JGS1811-1993「杭の鉛直載荷試験方法」に従って実施する。

極限支持力は、荷重 沈下曲線が沈下量の軸にほぼ並行と見なされるに至ったときの荷重と、沈下量が杭径の 10%になるときの荷重の小さい方の値とする。

2) 支持力算定式による方法

杭の極限支持力については、理論的に検討した研究も多いが実用に供されている方法は見あたらぬ。現状ではN値等を基に支持力を算定することが実用的であり、実績の多い以下の式を極限支持力の算定式として採用する。

a. 打込み杭

$$Ru = 30\bar{N}Ap + R_F$$

b. セメントミルク工法による埋込み杭

$$Ru = 20\bar{N}Ap + R_F$$

c. オールケーシング工法、リバース工法またはアースドリル工法による場所打ち杭 (以下「オールケーシング工法等による場所打ち杭」という)

$$Ru = 15\bar{N}Ap + R_F$$

Ru : 鉛直極限支持力 (t)

\bar{N} : 杭の先端付近の地盤の標準貫入試験による打撃回数の平均値 (60 を超えるときは 60 とする)

Ap : 杭先端の有効断面積 (m²)

R_F : 杭とその周囲の地盤 (軟弱な粘性土地盤、軟弱な粘性土地盤の上部にある砂質土地盤および地震時に液状化するおそれのある地盤を除く) との摩擦力 (t)

$$R_F = (\bar{N}sLs/5 + \bar{q}uLc/2)$$

$\bar{N}s$: 杭の周囲の地盤のうち砂質土地盤の標準貫入試験による打撃回数 (打込み杭にあっては 50 を超えるときは 50 とし、セメントミルク工法による埋め込み杭またはオールケーシング工法等による場所打ち杭にあっては 25 を超えるときは 25 とする) の平均値。

Ls : 杭がその周囲の地盤のうち砂質土地盤に接する長さの合計 (m)。ただし、地盤の液状化のおそれのある地層及びその上層の部分を除く。

$\bar{q}u$: 杭の周囲の地盤のうち粘性土地盤の一軸圧縮強度 (打込み杭にあっては 20 を超えるときは 20 とし、セメントミルク工法による埋込み杭又はオールケーシング工法等による場所打ち杭にあっては 10 を超えるときは 10 とする) の平均値。

Lc : 杭がその周囲の地盤のうち粘性土地盤接する長さの合計 (m)

: 杭の周の長さ (m)

なお、杭の極限支持力は地盤の特性によって異なるため、例えば東京都の建築構造設計指針⁸⁾など、地域毎の地盤特性を考慮した支持力算定式によっても決定することができるものとする。

d. 深礎

深礎の鉛直極限支持力は、杭長 / 杭径比により、適宜、地盤の鉛直極限支持力を用いるか、または場所打ち杭の鉛直極限支持力算定式を採用する。ただし、直接基礎とみなす場合は、載荷試験等で確認しない場合、沈下量を評価して極限支持力を低減するものとする。

e. 建設大臣認定

杭の鉛直支持力について建設大臣による認定工法については、建設大臣の認定において定めら

れた方法により、鉛直支持力を算定する。

(2) 杭基礎の各限界状態における鉛直支持力

- 1) 使用限界状態における杭の鉛直支持力は、極限支持力の 1/3 に設定する。
- 2) 損傷限界状態における杭の鉛直支持力は、極限支持力の 2/3 に設定する。
- 3) 安全限界状態における杭の鉛直支持力は、極限支持力に設定する。

5.3 引抜き抵抗力の検証

(1) 杭基礎の極限引抜き抵抗力

1) 杭の載荷試験による方法

杭の引抜き抵抗力を期待した設計を行う場合は、杭の引抜き試験を行い極限引抜き抵抗力を決定することが望ましい。杭の引抜き試験は地盤工学会基準 JGS1821-1989「杭の引抜き試験方法」に従って実施する。ただし、杭の鉛直載荷試験を先端抵抗と周面摩擦抵抗を分離して測定する場合は、得られた周面摩擦抵抗の結果を引抜き試験に代えても良いこととする。その場合、加力方向が逆であることを考慮して極限引抜き抵抗力は鉛直載荷試験で得られた極限摩擦抵抗力の 2 / 3 程度の値を採用することが望ましい。

2) 支持力算定式による方法

杭の引抜き抵抗力については、鉛直支持力の算定式において、杭の周囲の地盤との摩擦力 (R_f) を杭の極限引抜き抵抗としても良い。その場合、加力方向が逆であることを考慮して極限引抜き抵抗力は鉛直載荷試験で得られた極限摩擦抵抗力の 2 / 3 程度の値を採用することが望ましい。

(2) 杭基礎の各限界状態における引抜き抵抗力

- 1) 使用限界状態における杭の引抜き抵抗力は、極限引抜き抵抗力の 1/3 に設定する。
- 2) 損傷限界状態における杭の引抜き抵抗力は、極限引抜き抵抗力の 2/3 に設定する。
- 3) 安全限界状態における杭の引抜き抵抗力は、極限引抜き抵抗力に設定する。

5.4 使用限界状態における杭の許容沈下量、変形角の限界値

使用限界検証用荷重の作用時に、基礎構造のいずれの部材にも、その耐久性に影響を与えるひび割れを生じさせないため、必要に応じ設計者が杭の限界沈下量あるいは、基礎部材の限界変形角を設定する。許容沈下量、許容変形角の設定に当たっては、日本建築学会「建築基礎構造設計指針」(1988 年版)の値⁵⁾などを参考に、地盤の条件、基礎の形式、上部構造からの要求性能、周囲の状況などを考慮して設定する。沈下量の算定方法は、付録 1 による。

5.5 水平抵抗力の検証

地震時の杭には、上部構造の慣性力が杭頭に作用して生じる応力と、地盤の変形に追従して杭が変形することにより生じる応力とを考慮する。

(1) 上部構造の慣性力により杭に生じる応力

上部構造の慣性力により杭に生じる応力を求める際には、地盤の非線形性と杭頭の固定度を考慮する。地盤の非線形性を考慮した杭の応力解析は、杭に多数の非線形の水平バネを接続した増分解析になる⁹⁾。この場合の水平バネの復元力特性として、下式が提案されている¹⁰⁾。

$$q = 0.63E_0 B^{1/4} y^{1/2}$$

ここに、 q : 杭の単位長さあたりの水平地盤反力 (kg/cm)

E_0 : 地盤の変形係数 (kg/cm²)

y : 任意の深さでの杭の水平変位 (cm)

B : 杭の外径 (cm)

上式の地盤の変形係数 E_0 としては、下記のいずれかの値を用いる。

- ボーリング孔内で測定した地盤の変形係数 E_0
- 一軸または三軸圧縮試験から求めた変形係数 E_0
- 平均N値より $E_0 = 7N$ で推定した変形係数 E_0

E_0 の推定には、 または による値を用いるのが望ましいが、 の方法による場合は推定式の誤差を考慮し、推定式から得られた値を杭のせん断強度を検証するときは2倍、杭の曲げ強度を検証するときは1/2倍する。なお、2倍および1/2倍することによる応力への影響は、それぞれ1.19倍、0.84倍である。

地盤の非線形性と杭頭の固定度を考慮した杭頭の応力と変形の計算式としては、均質な地盤中にある「長い杭」を対象にした実用式が提案されており¹¹⁾、付録2に示した。計算誤差は2.8%以下である。この式は、杭頭の降伏後には適用できない。地盤がとくに不均質な場合や「短い杭」になる場合は、地層の変形係数の変化、杭先端の境界条件を考慮して、増分解析を行う。杭頭の固定度を考慮する際には、基礎梁の変形によるパイルキャップの回転、および、杭頭接合部における杭頭の回転を評価すべきであるが、杭頭が降伏する以前については、杭頭の回転角はパイルキャップの回転角に比べて小さいので、これを無視してよい。

上部構造と異なり、杭頭の水平力は杭頭が曲げ降伏した後も増加してゆくので、杭頭接合部の塑性回転性能が大きければ、杭基礎構造の保有水平耐力も増加する。

杭基礎構造の保有水平耐力としては、いずれかの杭基礎で

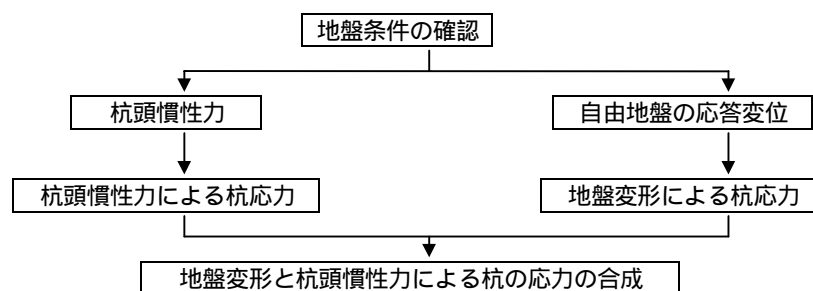
- 杭頭の塑性回転角が限界塑性回転角に達する
- 杭が2ヒンジ状態（杭頭と地中部で杭が曲げ降伏する状態）に達する
- 曲げ降伏以外の形態で、杭・パイルキャップ・基礎梁が破壊する

ときの、杭頭での層せん断力の最小値とする。

(2)地盤の変形により杭に生じる応力

地盤の変形により杭に生じる応力については、十分に解明されていない面があるが、地震時に液状化する地盤、または、地層の境界でせん断剛性が急変する地盤に杭を設置する場合は、文献^{12)~14)}などを参照して、地盤の変形による杭応力の増大を考慮することが望ましい。

地盤の変形により杭に生じる応力を考慮した杭基礎の検討手順を以下に示す。



5.6 杭体の断面設計

杭体の断面は、作用荷重に対応して生じる圧縮、引張り、曲げおよびせん断力による単独または複合断面応力に対して、5.1節で示した目標性能を満足するように設計する。杭体の損傷限界状態検証用強度と安全限界状態検証用強度は、杭材の種類に応じて設定する。なお、杭の耐震性能については、本会地盤系部会による「杭基礎の耐震設計を考える」にまとめられている¹⁵⁾ので参考にされたい。

(1) 既製コンクリート杭

既製コンクリート杭には、鉄筋コンクリート杭、プレストレストコンクリート杭（PC杭）、高強度コンクリートを用いたプレストレストコンクリート杭（PHC杭）、鉄筋もしくは平鋼を入れたPHC杭（P

R C 杭) および鋼管巻きコンクリート杭 (S C 杭) がある。ここでは、P H C 杭について示す。

1) 損傷限界状態検証用強度

P H C 杭の場合、引張り側コンクリートのひび割れ強度を損傷限界状態検証用強度とする。ひび割れ曲げモーメントは、次式によって算定する。

$$M_{cr} = Z_e (\sigma_e + F_t + N/A_e)$$

記号 M_{cr} : ひび割れ曲げモーメント

Z_e : 杭体の等価断面係数

σ_e : 有効プレストレス量

F_t : コンクリートの引っ張り強度 (一般には $F_t = 7.35 \text{ N/mm}^2$)

N : 杭体に作用する軸力 (圧縮力 +、引っ張り力 -)

A_e : 杭体の等価断面積

ただし、引張り力が大きい (N の値が小さい) 場合には、P C 鋼棒の降伏の方が先行するので注意が必要である。

せん断ひび割れを考慮する必要がある場合は、文献 16) 等を参考にして検討する。

2) 安全限界状態検証用強度

P H C 杭は靱性に乏しいため、杭体のある断面が最大強度に達した時点が、安全限界状態検証用強度となる。せん断破壊すると軸力をも保持できなくなるため、せん断破壊は絶対に避ける必要がある。

a . 終局曲げ耐力

P H C 杭の曲げ耐力は、軸力 N と曲げモーメント M との関係 ($N \sim M$ 関係) で表される。 $N \sim M$ 関係を算定する条件や方法は、付録 3 に示す。

b . 終局せん断耐力

終局せん断耐力の算定式はいくつか提案されている。付録 5 に、岸田らが提案した算定式¹⁷⁾を示しておく。

(2) 鋼管杭

鋼管杭は金属構造構造の鋼管柱部材として設計する。具体的な設計方法や設定値については、本マニュアル第 3 章「金属構造」に準じる。ただし、杭径や肉厚など、適用条件が外れる場合があるので注意されたい。なお、腐食しるは、地盤中の腐食性試験より求められた年間腐食率に耐用年限を乗じて求めるものとするが、一般的には外側 1 mm としてよい。

(3) 場所打ちコンクリート杭

場所打ちコンクリート杭は、鉄筋コンクリート構造の円柱形の柱部材として設計する。具体的な設計方法や設定値については、本マニュアル第 2 章「鉄筋コンクリート構造」に準じる。ただし、コンクリートの強度やかぶり厚さなど、適用条件が外れる場合があるので注意されたい。また、コンクリートを水または泥水がある状態で打設する場合は、設計基準強度 F_c を 2/3 倍に低減して設計する。

5.7 杭頭接合部の設計

(1) 各限界状態における目標性能

杭頭接合部とは、杭頭部とパイルキャップの接続部分を指し、杭体をパイルキャップ内に埋め込んだり、接合鉄筋を配置することにより、圧縮力やせん断力のほか、引抜き力や曲げモーメントなどの応力伝達を図ると共に、基礎梁やパイルキャップと共同で杭頭部の回転を拘束する部分に当たる。

杭頭接合部は、各限界状態における目標性能を満足するように設計する。

また、杭頭接合部に生じる応力は、各検討段階における作用荷重下での固定状態を適切に評価して求める。特に既往の研究や実験・解析等により、固定条件が明確にできない場合には、完全固定と仮定して応力を求め断面算定を行ってもよい。

(2) 杭頭接合方法

杭頭部とパイルキャップの接合方法は、パイルキャップの中に埋込んだ杭部分によって応力の伝達を図

る方法と、パイルキャップ内への埋込みは最小限とし、杭頭部の主筋または補強筋を定着することによって応力伝達を図る方法に大別される（図 8.1 および付録 5 参照）。接合方法に応じて、押込み耐力・引抜き耐力・せん断耐力・曲げ耐力等を想定される荷重によって生じる各応力に対する強度で評価する。

1) 既製コンクリート杭

既製コンクリート杭の場合、総じてパイルキャップを含む接合部の強度は計算上の杭体の強度より大きく、これらの杭を用いた接合部の二次設計では、杭体の終局強度曲線により接合部を設計すればよい。一方 S C 杭を用いた場合には、接合部の強度を杭体以上とするには、パイルキャップに対する十分な根入れ深さ（杭径以上）と適切な補強筋が必要となる。杭径以上根入れしない場合には、接合部における杭主筋の定着破壊やパイルキャップの縦割れ、表面のすべり破壊等の接合部の破壊によって接合部の強度が決定される。

杭体の破壊性状については、既製コンクリート杭の場合、軸力なしの条件下では曲げ破壊が先行し、軸力がある場合には、曲げ破壊あるいはせん断破壊が生ずる傾向がある。このうち、脆性破壊であるせん断破壊は高軸力下で生じやすく、杭体のせん断スパン比が小さい場合とか、中詰めコンクリート長が短い場合に起りやすくなる。

杭頭に塑性変形能力を期待できる接合方法を、付録 6 に示しておく。

2) 鋼管杭

鋼管杭の場合、局部座屈を除けば、杭自体の強度および靱性は十分あるため、S C 杭と類似の傾向にある。パイルキャップの圧壊や補強鉄筋の降伏後、水平荷重は徐々に増大し、やがては杭体が曲げ降伏するが、その後も荷重は保持し続け明確な荷重ピーク（強度）は見られない。一方、軸力が大きくなるが、逆に変形性能は小さくなる。その際のピーク強度は、ほぼ杭体の曲げ降伏によって決定される。

以上は、杭体の強度が発揮できるように必要な配筋がパイルキャップになされている場合であり、そうでない場合には、S C 杭のようにパイルキャップの縦割れなどによって急激に強度を失うことも起りうる。

3) 場所打ちコンクリート杭

場所打ちコンクリート杭については、上部構造の梁・柱接合部と同様に考えて設計することが多い。すなわち、杭頭接合部の最終的な強度は、杭体のせん断補強筋は十分であることを前提に、杭体の曲げ圧壊で決まるとする。実験例は少ないが、軸力なしの場合には杭コンクリートの圧壊前に主筋の引張降伏が生じ、その後も水平荷重は増加して軸力ありの場合と同様に、杭コンクリートの曲げ圧壊に至ることが認められている。その際、パイルキャップにはひび割れは生ずるものの、縦割れや滑りなどは起きない。

	埋込み方式	定着方式
既製 コンクリート杭		
鋼 管 杭		
場所打 コンクリート杭		

図 8.1 杭頭の接合方法

5.8 パイルキャップの設計

パイルキャップは、上部構造および杭からの応力を相互に伝達する部材である。したがって、上部構造または杭が保有水平耐力に達する以前にパイルキャップが終局強度に達すると、そのときの層せん断力で建物の保有水平耐力が定まり、上部構造・杭の性能が活かされない。パイルキャップの強度は、上部構造または杭が保有水平耐力に達した時にパイルキャップに生じる応力以上とする。

(1) パイルキャップ全体の強度

1) 水平断面に関する曲げ強度・せん断強度

パイルキャップの基礎梁下端位置の水平断面には、図 8.2 (a) に示すような曲げモーメント、せん断力が生じるので、同図に示す H_a が大きい場合には、この水平断面において次式を満足させ

るものとする。

$$M_h > M_{top} + Q_{top} H_a$$

$$Q_h > Q_{top}$$

M_h 、 Q_h ：基礎梁下端位置の水平断面に関するパイルキャップの曲げ強度、せん断強度で、杭頭に軸力 N が作用する R C 柱として算定する

M_{top} 、 Q_{top} ：パイルキャップ底面位置での杭の曲げモーメント、せん断力

H_a ：パイルキャップ底面から基礎梁下端までの鉛直距離

2) 鉛直断面に関する曲げ強度・せん断強度

群杭基礎のパイルキャップにおいては、図 8.2 (b) に示すように、柱・基礎梁・杭からの曲げモーメント・せん断力・軸力により、柱中心位置、杭中心位置に曲げモーメント M_a 、 M_b が生じ、両位置間にはせん断力 Q が生じるので、これらの鉛直断面において次式を満足させる。

$$M_v > \max(M_a, M_b)$$

$$Q_v > Q$$

M_v 、 Q_v ：鉛直断面に関するパイルキャップの曲げ強度、せん断強度で、R C 梁として算定する

M_a 、 M_b ：柱中心位置、杭中心位置でのパイルキャップの曲げモーメント

Q ：パイルキャップの柱中心位置と杭中心位置の間の鉛直断面に生じるせん断力

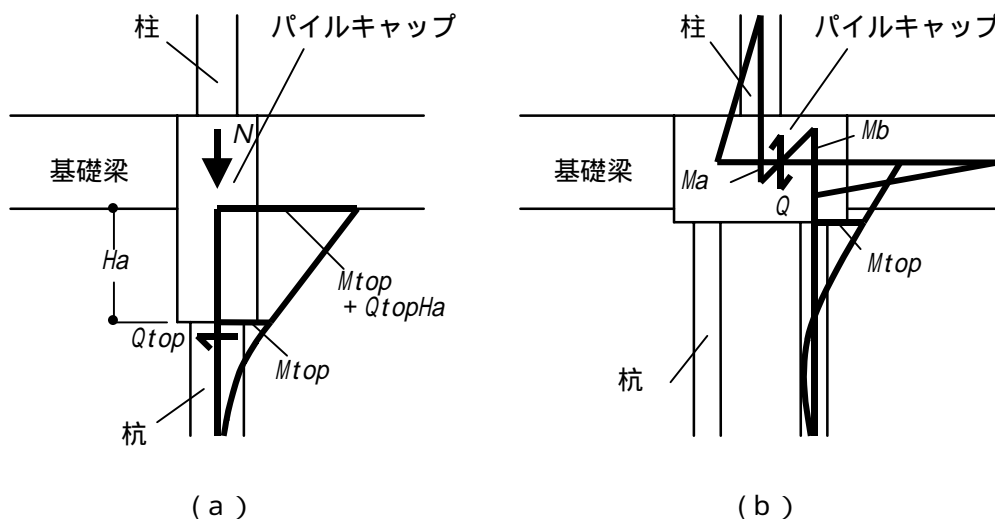


図 8.2 パイルキャップ全体に生じる曲げモーメントとせん断力

(2) パイルキャップ局部の強度

1) パイルキャップ上面の押し抜き強度

図 8.3 の破線で囲まれた部分が上方へ分離する、パイルキャップ上面の押抜き破壊に関して、次式を満足させる¹⁸⁾。

$$P_{sc} > P$$

$$P_{sc} = \min(P_s, P_c)$$

$$P_s = (F_c/15) \cdot (B + H_b) H_b$$

$$P_c = (1.5 F_c) \cdot B^2 / 4$$

P_{sc} : パイルキャップ上面の押抜き強度

P : 杭に生じる軸方向圧縮力

P_s : パンチングシアによる押抜き強度

P_c : 杭頂部の支圧による押抜き強度

F_c : パイルキャップ・コンクリートの設計基準強度

B : 杭の外径

H_b : ずれ止めがない場合は杭頂部から、ずれ止めがある場合はずれ止めの上端から、パイルキャップ上面までの鉛直距離

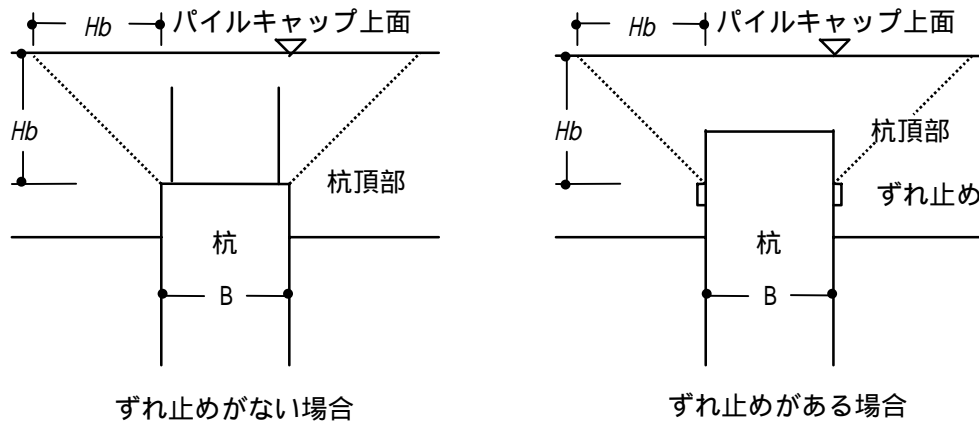


図 8.3 パンチングシアによるパイルキャップ上面の押抜き破壊

2) 杭頭でのテコ作用に対するせん断強度

図 8.4 (b) の Q_{top} 、 R_1 、 R_2 で形成される杭頭でのテコ作用により、同図 (a) の部分が分離する破壊に関して、次式を満足させる¹⁹⁾。なお、下式における M_c によって杭頭の曲げモーメントが全て伝えられる場合には、この検討は省略することができる。

$$Q_{ss} > Q_{top}$$

$$Q_{ss} = \{ (R_a + R_b) (D_c + 0.8 \mu B) + M_c \} / (H_c + 0.8 \mu B + M_{top} / Q_{top})$$

Q_{ss} : 杭頭でのテコ作用に対するせん断強度

Q_{top} : 杭頭に作用するせん断力

R_a : 図 8.4 (c) のように、の部分を下向きの片持ち梁とみなしたときの、梁の曲げ強度時の水平力

R_b : 加力方向の全水平下端筋の引張り強度 (= $2T$: 図 8.4 (d) 参照)

D_c : パイルキャップの下端筋位置から杭頂部までの鉛直距離

μ : 杭とパイルキャップ間の摩擦係数 ($\mu = 0.4$ とする)

B : 杭の外径

M_c : パイルキャップ内への杭の定着筋とパイルキャップ・コンクリートで構成される仮想 R C 円柱 (直径 = 杭の外径 B) の曲げ強度

H_c : パイルキャップの下端から杭頂部までの鉛直距離

M_{top} : 杭頭に作用する曲げモーメント

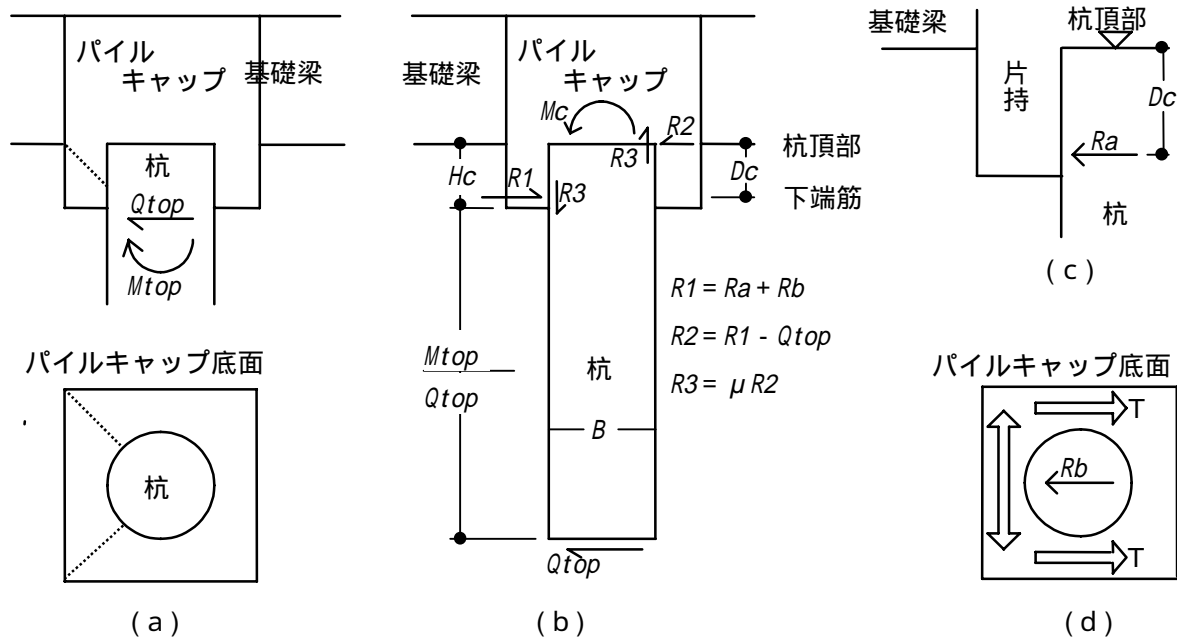


図 8.4 杭頭でのテコ作用によるパイルキャップ側面のせん断破壊

6. その他の形式の基礎

6.1 異種の基礎形式の併用基礎

- (1) 併用基礎の使用限界状態検証の当たっては、基礎を鉛直バネに置換した基礎梁格子モデル等により、各基礎の沈下性状の影響を適切に評価する。各基礎の沈下性状は、4.2 節及び 5.4 節による。
- (2) 地震荷重を対象とした損傷限界状態及び安全限界状態の検証に当たっては、基礎を水平バネに置換した基礎梁格子モデル等により基礎形式の相違による基礎全体としての平面的なねじれの影響を考慮する。

6.2 地盤改良工法

- (1) セメント系固化材を用いた深層・混合処理工法の設計に当たっては、「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 - (日本建築センター、平成 9 年 7 月)」²⁰⁾ に準拠する。
- (2) 前項以外の地盤改良工法を採用する場合には、本会や地盤工学会などの関連文献^{21)~23)}等を参照して設計する。

参考文献：

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針 4.5 節 地盤の液状化判定、pp.163~169、1988.1.
- 2) 日本建築学会構造委員会基礎構造運営委員会：建築基礎の設計施工に関する研究資料 4 液状化地盤における基礎設計の考え方、1998.9.
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針 4.5 節 地盤の許容支持力度 表 2 支持力係数、pp.120、1988.1.
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針 4.5 節 地盤の許容支持力度 表 1 形状係数、pp.120、1988.1.
- 5) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針 4.4 節 許容沈下量、pp.156~163、1988.1.
- 6) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針 4.3 節 沈下量の計算、pp.130~155、1988.1.

- 7) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針 5.2 節 独立フーチング基礎 図 5.2.5 長方形基礎と円形基礎の接地圧係数と偏心率の関係、pp.187、1988.1.
- 8) 東京都建築構造行政連絡会監修：建築構造設計指針 1991 12-2-3 くい基礎に関する取り扱い、pp.365～388、東京都建築士事務所協会、1991.12.
- 9) 日本建築構造技術者協会 技術委員会・地盤系部会・杭頭接合部WG：杭基礎の耐震設計を考える 第7章 杭基礎の保有水平耐力の検討例、pp.85～117、1997.11.
- 10) 斉藤安生、堀井昌博、石井正人、王 学鋒：地盤の塑性性状を考慮した杭の水平地盤反力の定式化、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）構造、pp.699～700、1996.9.
- 11) 堀井昌博、斉藤安生、石井正人：地盤の塑性性状と杭頭の固定度を考慮した杭頭の応力と変形の近似式、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）構造、pp.545～546、1997.9.
- 12) 許斐信三、松尾雅夫、三町直志：応答変位法による杭の耐震設計の研究、日本建築学会 第5回動的相互作用シンポジウム論文集、pp.225～230、1998.5.
- 13) 許斐信三、三町直志、倉持博之：応答変位法による杭の耐震設計 その6 解析結果及び検討結果（実地盤の場合）、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）構造、pp.777～778、1999.9.
- 14) 西村昭彦、室野剛隆、永妻真治：地盤震動を考慮した軟弱地盤中の杭基礎構造物の耐震設計法、第24回地震工学研究発表会講演論文集、pp.921～924、1997.7
- 15) 日本建築構造技術者協会 技術委員会・地盤系部会・杭頭接合部WG：杭基礎の耐震設計を考える 第4章 各種杭材の耐震性能、pp.38～66、1997.11.
- 16) 日本建築構造技術者協会 技術委員会・地盤系部会・杭頭接合部WG：杭基礎の耐震設計を考える 4.3 PHC杭の耐震性能 4.3.4 せん断耐力 (4.1)式、pp.43～44、1997.11.
- 17) 岸田慎司、堀井昌博、桑原文夫、林静雄：大口径PHC杭のせん断終局強度の計算方法に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、No.532、pp.103～110、2000.6.
- 18) 相内良一、伊藤 勝、堀田久則、榎並 昭：鋼管ぐいのくい頭処理の効果、建築技術、No.308、pp.107～118、1977.4.
- 19) 黒正清治、和田 章、小林克巳、林 静雄、堀井昌博、木原碩美、武 秀彦、斎藤征次、臼井 賢：水平力を受ける杭と基礎の結合部に関する研究（その1～4）、日本建築学会大会学術講演会梗概集（北陸）、pp.2731～2738、1983.9.
- 20) 日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 -、1997.7.
- 21) 日本建築構造技術者協会 技術委員会・地盤系部会・地盤改良工法WG：建築技術者のための地盤改良工法データシート、1996.3.
- 22) 地盤工学会：軟弱地盤対策工法 - 調査・設計から施工まで -、現場技術者のための土と基礎シリーズ 16、1988.11.
- 23) 地盤工学会：液状化対策の調査・設計から施工まで、現場技術者のための土と基礎シリーズ 20、1993.6.

付録1 杭基礎における沈下量の算定

杭の沈下量の算定方法として、先端の荷重～沈下量関係と周面摩擦抵抗～変位量関係を仮定したうえで、荷重伝達法などを適用して杭頭の荷重～沈下量を計算する方法がよく用いられる。ここでは、場所打ち杭の先端荷重～先端沈下量特性と周面摩擦ばねのモデルを紹介する。なお、荷重伝達法については、文献1)などを参照されたい。

(1)場所打ち杭の先端荷重～先端沈下量特性²⁾

$$\frac{Sp/Dp}{0.1} = 0.27 \frac{Rp/Ap}{(Rp/Ap)u} + 0.73 \left\{ \frac{Rp/Ap}{(Rp/Ap)u} \right\}^{2.27}$$

- R_p : 杭先端荷重
- S_p : 杭先端沈下量
- D_p : 杭先端直径。ただし壁杭の場合は杭先端等価直径（杭先端断面積と等しい断面積をもつ円形断面に換算した時の直径）。拡底杭以外は $D_p = D_o$
- A_p : 杭先端断面積
- R_p/A_p : 杭先端荷重度
- $(R_p/A_p)u$: 極限杭先端荷重度

(2)場所打ち杭の周面摩擦ばねのモデル化³⁾

各地盤種別毎に周面摩擦力が最大値に達する杭の変位量を求め、その間を双曲線および折れ線で近似し、最大値以後はその摩擦力度を保持するとして、下記のようにモデル化した。

a)双曲線近似の場合

砂礫地盤

$$\begin{aligned} / \max &= / (0.93 + 0.69 \quad) \quad (\quad 3.0 \text{ cm}) \\ &= \max \quad \quad \quad (\quad > 3.0 \text{ cm}) \end{aligned}$$

砂地盤

$$\begin{aligned} / \max &= / (0.28 + 0.86 \quad) \quad (\quad 2.0 \text{ cm}) \\ &= \max \quad \quad \quad (\quad > 2.0 \text{ cm}) \end{aligned}$$

粘性土地盤

$$\begin{aligned} / \max &= / (0.19 + 0.81 \quad) \quad (\quad 1.0 \text{ cm}) \\ &= \max \quad \quad \quad (\quad > 1.0 \text{ cm}) \end{aligned}$$

b)折れ線近似の場合

表-1 に示す2点を通る tri-linear な折れ線で近似する。

表-1 折れ線近似の場合の折れ点

	max	L	y	y
砂 礫 地 盤	$N/2(\text{tf}/\text{m}^2)$	30 mm	$0.7 \max(\text{tf}/\text{m}^2)$	10 mm
砂 地 盤	$N/3(\text{tf}/\text{m}^2)$	20 mm	$0.8 \max(\text{tf}/\text{m}^2)$	5 mm
粘 性 土 地 盤	$c(\text{tf}/\text{m}^2)$	10 mm	$0.8 \max(\text{tf}/\text{m}^2)$	3 mm

: 杭周面摩擦力度

max : 杭周面最大摩擦力度

: 変位

N : 標準貫入試験による打撃回数

C : 粘着力

参考文献

- 1) 地盤工学会：基礎の沈下予測と実際、地盤工学・実務シリーズ 12、pp.80～83、2000.2.

- 2) 山肩邦男、伊藤淳志、山田毅、田中健「場所打ちコンクリート杭の極限先端荷重および先端荷重～先端沈下量特性に関する統計的研究」、日本建築学会構造系論文報告集、第423号、pp.137～146、1991.5.
- 3) 伊勢本昇昭・桂 豊・山田毅「場所打ちコンクリート杭の支持力性能(その2)周面摩擦力～変位特性、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造」、pp.727～728、2000.9.

付録2 地盤の非線形性と杭頭の固定度を考慮した杭頭の応力と変形

Y_{top} を仮定して、下式により H_{top} 、 M_{top} 、 θ_{top} を求める。表計算ソフトを用いると便利である。

$$H_{top} = \frac{(0.93Ro + 3.0)(1 + \alpha Ro)EI}{2(Ro + 3.0)(2 + \alpha Ro)(\alpha B)^3} Y_{top}$$

$$M_{top} = \frac{(Ro + 42.4) \alpha Ro EI}{2(Ro + 40.7)(2 + \alpha Ro)(\alpha B)^2} Y_{top}$$

$$\theta_{top} = \frac{(Ro + 42.4)}{(Ro + 40.7)(2 + \alpha Ro)(\alpha B)} Y_{top}$$

ここに、 $Ro = 2KoB/EI$

$$Ko = 3mEbIbAsL / (3Ib + AsL^2)$$

$$\alpha = \{EI / (4khB^5)\}^{1/4}$$

$$kh = 0.8EoB^{-3/4} Y_{top}^{-1/2}$$

H_{top} : 杭頭に作用する水平力 (kg)

m : 杭に接続する基礎梁の数 (-)

M_{top} : 杭頭の曲げモーメント (kg・cm)

Eb : 基礎梁のヤング係数 (kg/cm²)

θ_{top} : 杭頭の回転角 (-)

Ib : 基礎梁の断面2次モーメント (cm⁴)

Y_{top} : 杭頭の水平変位 (cm)

As : 基礎梁のせん断用断面積 (cm²)

Ro : 杭頭の回転剛性比 (-)

L : 基礎梁の反曲点長さ (cm)

Ko : 基礎梁の変形による回転バネ (kg・cm)

(基礎梁が2本のときは平均値)

α : 杭頭固定時のせん断スパン比 (-)

: 基礎梁がRC造のとき = 2.3

EI : 杭の曲げ剛性 (kg・cm²)

S造のとき = 2.6

B : 杭の外径 (cm)

Kh : 水平地盤反力係数 (kg/cm³)

Eo : 地盤の変形係数 (kg/cm²)

付録3 : PHC杭の終局N - M関係の計算条件と計算方法

PHC杭の一般的な終局N - M関係の計算条件と計算方法を示す。

(1) 計算条件

1) コンクリートとPC鋼棒の応力～ひずみ関係は、図1のように、安全側となるバイリニア型を仮定するのが一般的である。ただし、コンクリートの応力～ひずみ関係はe関数で近似した方が実際の挙動をよく説明できるため、M～関係など変形を問題にする場合は、e関数を用いる方がよい。

2) 杭体の断面において、平面保持条件を仮定する。

(2) 計算方法

上記2)の条件から、杭体の任意の断面におけるコンクリートのひずみ c_i とPC鋼棒のひずみ s_i の分布を、図2のように直線状とする。上記1)の条件で c_i と s_i に対応する応力 σ_{ci} 、 σ_{si} を求

めると、次式で軸力Nと曲げモーメントMが計算できる。

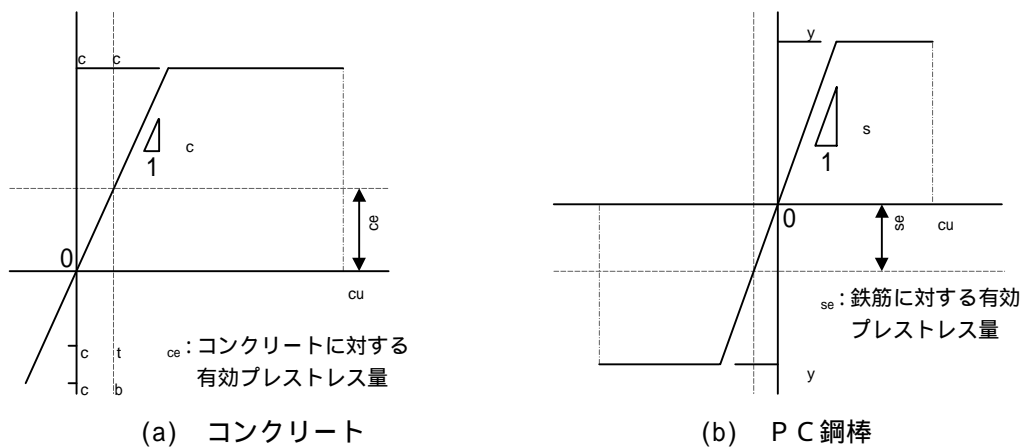


図1 杭材の応力 ~ ひずみ 関係

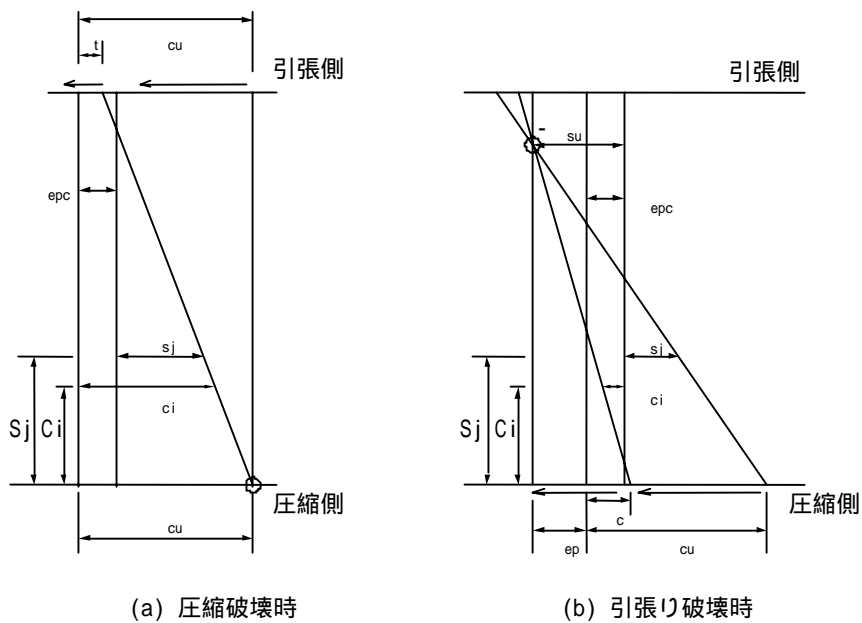


図2 ひずみ分布

$$N = \int c(x) \cdot A_c(x) dx + \int s(x) \cdot A_s(x) dx$$

$$M = \int c(x) \cdot x \cdot A_c(x) dx + \int s(x) \cdot x \cdot A_s(x) dx$$

記号 $c(x)$: 中立軸から距離 x におけるコンクリートの応力度

$A_c(x)$: 中立軸から距離 x におけるコンクリートの微小断面積

$s(x)$: 中立軸から距離 x における PC 鋼棒の応力度

$A_s(x)$: 中立軸から距離 x における PC 鋼棒の微小断面積

圧縮側コンクリートのひずみ c を図 2 (a) のように圧縮破壊時ひずみ c_u に固定しておいて、引張り側コンクリートのひずみ t を c_u から順次減少させながら N と M を計算すると、圧縮破壊時の $N \sim M$ 関係が得られる。次に、引張り側 PC 鋼棒のひずみを同図 (b) のように PC 鋼棒の引張り破断時ひずみ s_u に固定しておいて、 c を c_u から s_u まで順次減少させながら N 、 M を計算すると引張

り破壊時のN～M関係を得ることができる。

付録4：PHC杭の終局せん断耐力の検討式

岸田慎司らによる大口径PHC杭のせん断終局強度の計算方法を、文献1)から抜粋して示す。

$$Q_u = \beta \cdot (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4) \times (b_e \cdot j)$$

ここに、

Q_u ：PHC杭のせん断終局強度 (N)
：危険率を5%としたときの低減係数、 $\beta = 0.80$

1、2、3、4：

コンクリート、らせん筋、軸力、中詰めコンクリートが負担するせん断応力度 (N/mm²)

b_e ：有効断面幅、 $b_e = \beta_c \cdot A_c / D$

：肉厚補正係数、 $\beta_c = -1.24(t/D) + 1.19$

t ：杭の肉厚(mm)

D ：杭の外径(mm)

A_c ：杭の実断面積(mm²)、 $A_c = \beta_c \cdot t(D-t)$

j ：応力中心間距離、 $j = (7/8)d$

d ：有効せい(mm) $d = D - t/2$

1：コンクリート負担分

$$\tau_1 = \frac{0.115k_u \cdot k_p (\sigma_c + 17.7)}{\frac{M}{Q \cdot d} + 0.115}$$

k_u ：断面寸法による補正係数

$d = 260\text{mm} \dots k_u = 0.83$

$d = 270\text{mm} \dots k_u = 0.82$

$d = 280\text{mm} \dots k_u = 0.80$

k_p ：引張り鉄筋比による補正係数、 $k_p = 0.82(100\rho_t)^{0.23}$

ρ_t ：引張り鉄筋比、 $\rho_t = p_g / 4$

p_g ：主筋比、 $p_g = A_g / (b_e \cdot j)$

A_g ：軸方向筋全断面積(mm²)

σ_c ：杭体コンクリート圧縮強度 (N/mm²)

$\frac{M}{Q \cdot d}$ ：せん断スパン比

2：らせん筋負担分

$0.785p_w \cdot \sigma_{wy} \geq 7.4 \text{ N/mm}^2$ の時、 $\tau_2 = 0.657 \times (0.785p_w \cdot \sigma_{wy})$

$7.4 \text{ N/mm}^2 < 0.785p_w \cdot \sigma_{wy}$ の時、 $\tau_2 = 4.87$

p_w ：らせん筋比、 $p_w = a_w / (b_e \cdot s)$

a_w ：1組のらせん筋の断面積(mm²)

s ：らせん筋のピッチ(mm)

σ_{wy} ：らせん筋の降伏強度 (N/mm²)

3：軸力負担分 $\sigma_e + \sigma'_o \geq 27.4 \text{ N/mm}^2$ の時、 $\tau_3 = 0.102 (\sigma_e + \sigma'_o)$

$27.4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_e + \sigma'_o$ の時、 $\tau_3 = 2.79$

$\sigma_e + \sigma'_o$ ：複合軸方向応力度、 $\sigma_e + \sigma'_o = \sigma_e + N_s / (b_e \cdot j)$

σ_e ：有効プレストレス量 (N/mm²)

N_s ：杭が負担する軸力 (N) $N_s = \frac{A_{杭} \cdot E_{杭}}{A_{中} \cdot E_{中} + A_{杭} \cdot E_{杭}} N$

$A_{杭}$: 杭断面積 (mm²)
 $E_{杭}$: 杭のヤング係数 (N/mm²)
 $A_{中}$: 中詰めコンクリート断面積 (mm²)
 $E_{中}$: 中詰めコンクリートのヤング係数 (N/mm²)
 N : 軸力 (N)

4 : 中詰めコンクリート負担分

$$\frac{4}{A_{中}} = \frac{A_{中}}{b_e \cdot j}$$

$$\frac{4}{A_{中}} = 0.312 \frac{f_{c0}}{f_{c0}} + 0.01$$

f_{c0} : 中詰めコンクリートのコンクリート圧縮強度 (N/mm²)

f_{c0} : 中詰めコンクリートの軸方向応力度 (N/mm²), $f_{c0} = \frac{N - N_s}{A_{中}}$

参考文献

- 1) 岸田慎司、堀井昌博、桑原文夫、林静雄：大口径 P H C 杭のせん断終局強度の計算方法に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、No.531、pp.103 ~ 110、2000.6.

付録 5 杭頭接合部の種類

損傷及び安全限界状態検討時における、接合部の目標性能により、適切な杭頭接合部のディテールあるいは接合法を選定する。一般的な接合法と塑性域での挙動、破壊性状等に関しては、本会地盤系部会杭頭接合部WGによる「杭基礎の耐震設計を考える 第5章 各種杭基礎の耐震構法」(1997.11)等を参考とすると良い。

以下に各工法における、接合部の設計の基本と塑性域での挙動の概要を示す(表1)。

(1) 杭体主筋・補強筋をパイルキャップ内へ定着する

この工法による場合、定着筋による耐力は、パイルキャップ内に鉄筋を包括するコンクリート断面を考えることにより算出できる。

a. 杭頭部の杭体主筋をパイルキャップ内へ定着する工法

P H C 杭の杭頭をカットした場合には、ストレス抜けを生じており、パイルキャップ内に杭径以上を目安に埋め込んでおく等対策を講じないと、パイルキャップ下端付近において杭本来の耐力を保持出来ない。

b. 杭頭端板にアンカー筋をスタッド溶接する工法

実験による最終破壊は、P C 鋼材の破断又はコンクリートの圧縮破壊となっており、耐力はあるが、塑性変形性能は小さい。

c. 杭頭端板の P C 孔に近接する緊張力導入用ねじ穴にアンカー筋をねじ込む工法

パイルキャップへの杭頭埋込み長さが相違しても終局強度は変わらないが、埋込み長さの短いものは剛性が低い。最終破壊形態は定着筋のねじ部の破壊である。したがって塑性変形性能は小さい。

d. 杭頭鋼管部に補強筋を溶接し、パイルキャップ内へ定着する工法

e. 杭頭鋼管部に鉄筋の機械式継手を溶接し、杭主筋をセットする工法

機械式継手(カプラー)長と溶接長により溶接部での破壊のない設計が可能であり、溶接部の鋼管と補強筋のずれによる、偏心モーメントを考慮した近似式が提案されている。

f. 主筋を溶接とした鋼製ソケットを杭頭部に被せる工法

杭径に対して適切な鋼製ソケット厚を採用すれば、杭体に損傷を与えることなくソケットを降伏させる事ができ、塑性変形性能を向上させる事ができる。杭頭接合部の実験をともなう提案である。

るが、現実に採用された建物はない。

(2) 杭頭部分をパイルキャップ内へ埋め込む

g . 杭頭部分をパイルキャップ内へ埋め込む工法

杭径以上の埋め込み深さとすれば、杭の曲げ破壊を先行させることができ、それにより耐力を決めることができる。

h . 杭頭部をパイルキャップ内へ埋め込み、杭頭周囲に補強筋を配置工法。

補強筋の組合せにより、耐力，靱性の向上が可能である。

(3) 杭頭部分に中埋め補強筋を挿入する

i . 杭頭部分に中詰め補強筋を挿入する工法

表 1 杭頭接合部の種類と杭種の組合せ

杭頭接合部の種類		杭 種		鋼管杭 S C 杭	場所打コンクリート 杭	場所打鋼管コンクリート 杭
		PHC杭 杭頭カット有	PHC杭 杭頭カット無			
杭体主筋・補強筋をパイルキャップ内へアンカーする	a . 杭頭部の杭体主筋をパイルキャップ内へアンカーする		-	-		
	b . 杭頭端板にアンカー筋をスタッド溶接する	-		-	-	-
	c . 杭頭端板のP C 孔に近接する緊張力導入用ねじ穴に定着筋をねじ込む	-		-	-	-
	d . 杭頭鋼管部に補強筋を溶接し、パイルキャップ内へ定着する	-	-		-	
	e . 杭頭鋼管部に鉄筋の機械式継手を溶接し、杭主筋を接合する	-	-		-	
	f . 杭頭部に主筋を溶接した鋼製ソケットを被せる			-	-	-
杭頭部分をパイルキャップ内へ埋め込む	g . 杭頭部分をパイルキャップ内へ埋め込む				-	-
	h . 杭頭部をパイルキャップ内へ埋め込み、杭頭周囲に補強筋を配置する				-	-
	i . 杭頭部分に中詰め補強筋を挿入する				-	

付録 6 杭頭部の塑性回転性能を期待する一設計法¹⁾

図 1 はこの設計法の概念図を示し、以下でその概要を述べる。

a . 杭頭部を軸方向筋ごとカットオフし、パイルキャップ内に埋め込む。

b . 埋め込み深さは、軸方向筋の定着滑りとその破断に先行して起こり、大きな塑性変形能が発揮できる深さとし、杭径の 1/3 以上で、次式で求められる杭体軸方向筋の最小定着長を超えない範囲とする。

$$\text{最小定着長} : L_a = \frac{\sigma_y \cdot R}{4\tau_a}$$

σ_y : 杭体軸方向筋の降伏応力度

R : 杭体軸方向筋の直径

τ_a : 杭体軸方向筋の最大付着応力度

実験より、B種のPHC杭では異形PC鋼棒 (JIS G3138) に対して

$$\tau_a = 90 \text{ kg/cm}^2$$

- c . 杭体中空部に、中詰めコンクリートを打設し、軸方向筋を配筋する。
- d . 中詰めコンクリートの打設深さは、設計で想定する終局時の応力状態により決定する。
- e . 杭体のらせん筋量を下式を満足するよう増強する。

$$\text{らせん筋強度比} : P_w \cdot \sigma_{wy} \geq 48.2 \text{ kg/cm}^2$$

P_w : らせん筋比

σ_{wy} : らせん筋の降伏応力度

詳細は、「杭基礎の耐震設計を考える」¹⁾を参照されたい。

参考文献

- 1) 日本建築構造技術者協会 技術委員会・地盤系部会・杭頭接合部WG：杭基礎の耐震設計を考える 5.3 PHC杭基礎の耐震構法、pp.74～79、1997.11.

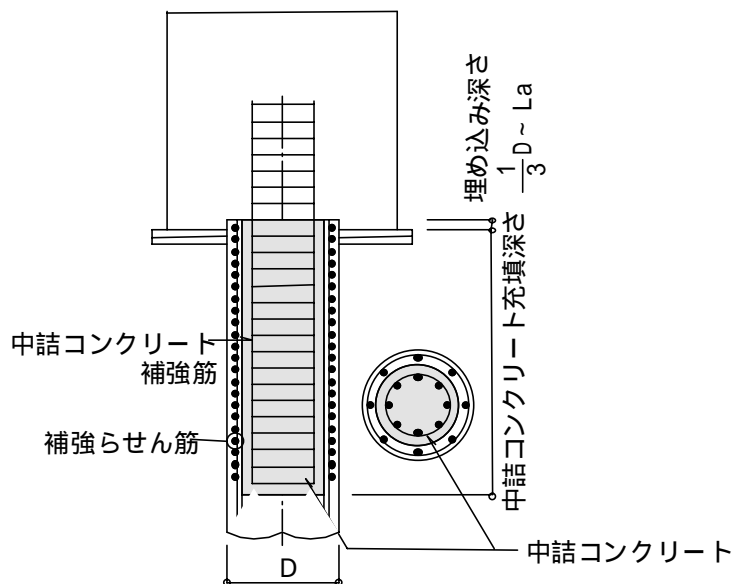


図1 PHC杭の耐震構法の一例