

第 1 章

序論

第1章 序論

1.1 はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、建築物の構造設計時に十分な検討が明示的に求められていない部位での損傷が顕在化し、その結果当該建築物が地震後継続使用できなくなる事例が確認されている。現行の建築基準法において一般的な建築物の杭基礎は中小地震における損傷制御を目的とした設計が行われているものの、大地震後の継続使用性を確保するための設計はほとんど行われていない。建築研究所では2013年から3カ年実施した研究課題「庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性確保に資する耐震性能評価手法の構築」の中で、地震後の継続使用性を確保するための試設計を実施し、その成果を文献[1-1][1-2]で紹介している。しかし、この試設計例では、場所打ちコンクリート杭を採用しており、非常に現在多く流通している既製杭は対象とされていない。高強度コンクリートを用いた既製杭のように脆性的に破壊する杭は、設計時に塑性ヒンジを許容できないために強度型の設計となる。しかし、大地震レベルの外力が作用する場合には強度型の杭では断面が相当に大きくなるため、靱性のある場所打ちコンクリート杭が採用されている。このように、大地震後の継続使用性を確保するための設計においては、塑性ヒンジを許容できる靱性のある杭が必要とされる。

それを受けて、本資料の第一編及び第二編では、靱性のある杭基礎構造システムとして、それぞれ鋼管による拘束中実（既製）杭工法（略称：中実杭工法）と接合面降伏型埋込既製杭工法（略称：降伏埋込工法）の開発を行った。また、既に開発されている杭頭半剛接合工法も、杭頭部の応力を緩和することのできる工法である。そこで第三編では、これら3つの工法を用いて大地震後の継続使用性を確保するための設計を改めて実施する。

1.2 既往の研究

1.2.1 地震後の継続使用性を確保した杭基礎構造システムの耐震設計

2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震では、行政庁舎や避難所など防災拠点となる建築物においても杭の損傷に起因する不同沈下等により継続使用が不可能となった事例が確認され、その後公表された国交省ガイドライン^[1-3]でも、大地震後の上部構造の継続使用に配慮して杭基礎の設計を行うことを求めている。また、日本建築学会では、規準や指針の改訂に応じて基礎構造の耐震設計における要求性能や二次設計等の手法が明示されている。建築研究所においても、2014年以降、場所打ち杭を対象に地震後の継続使用性の評価に関する研究を行っている。本節(1.2)では、既製コンクリート杭を用いた場合について、その後に実施された靱性能に関する実験的研究や最新の規準改定の知見に基づき、継続使用性に関する基礎構造の要求性能を明らかにして、二次設計および保証設計を中心とした試設計による検討を行うにあたり、耐震設計方針を示す。

(1) 耐震設計方針

1) 活動上重要なエリアの設定

地震後の継続使用性を確保するために重要な機能とエリアを以下と設定する。

表 1.2.1-1 地震後の継続使用性を確保するための重要な機能とエリア

	地震後の必要な機能	活動上重要なエリア	主な検証部位
小学校	災害時の優先業務の指揮と情報伝達の拠点	放送室(1階) 職員室(1階)	RC造非耐力壁 天井、外装材 放送設備
	活動支援	トイレ(1階)	給排水設備
	活動経路の確保	廊下(1階)	RC造非耐力壁
共同住宅	災害時の優先業務の指揮と情報伝達の拠点	管理人室(1階)	RC造非耐力壁 放送設備
	活動支援・避難場所	居住専有部	給排水設備
	活動経路の確保	廊下	RC造非耐力壁

2) 性能目標ランク・耐震設計方針

地震後の継続使用性を確保するための建物の性能目標ランク、および各部位の損傷ランクを以下に設定する。

表 1.2.1-2 建物の性能目標ランクと各部位の損傷ランク

性能目標 ランク	構造部材	RC造非耐力壁		建築設備		仕上げ等 天井、外装
		活動上重要な エリア	左記以外	給排水設備	放送設備	
S	I	I	I	I	I	I
A	II	II	III	II	II	II
B	III	III	III	II	II	II

第1章 序論

1.2.2 最近の技術基準・指針

基礎構造に関する知見として、以下の日本建築学会発行の規準・指針類が挙げられ、近年発行、改定されている。

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2018年改定^[1-4]

鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)・同解説、2017年発行^[1-5]

(2019年3月18日付正誤表反映)

建築基礎構造設計指針、2019年改定^[1-6]

また、近年、基礎構造に関する実験研究も行われている。

以下にその概要を示す。

(1) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説^[1-4]

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説が2018年に改定された。改定内容の中で20条基礎に関しては、下記の本文が追加された。

1) 基礎スラブ

複数の杭が剛接合された基礎スラブは、以下の各項により算定してもよい。この場合の基礎スラブは、原則として、正方形ないし長方形の平面形状を有し、杭の配置が柱芯に対して左右対称なものを対象とする。

基礎スラブの断面算定では、柱フェイス位置の設計用応力に対して、許容曲げモーメント M_A は(20.4)式、許容せん断力 Q_A は(20.5)式により算定する。

$$M_A = a_t f_t j \quad (20.4)$$

ただし、 $d/l_p < 2.0$ かつ釣合鉄筋比以下

$$Q_A = l j \alpha f_s \text{ または } l' j \alpha f_s \quad (20.5)$$

ただし、 $0 \leq P_w < 0.2\%$ の場合： $\alpha = 1$

$$P_w \geq 0.2\% \text{ の場合} : \alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \text{ かつ } 1 \leq \alpha \leq 2$$

記号

a_t : 基礎スラブの引張鉄筋断面積

f_t : 引張鉄筋の許容応力度

j : 基礎スラブの応力中心距離で $(7/8)d$ とすることができる。

d : 基礎スラブの算定断面有効せい

l_p : 柱フェイスから杭芯までの距離

l または l' : 基礎スラブの全幅

f_s : コンクリートの許容せん断応力度

P_w : 基礎スラブのせん断補強筋比で、次式による。

$$1 \text{ 方向配筋の場合} : P_w = \frac{a_w}{l \cdot s} \text{ または } \frac{a_w'}{l' \cdot s'}$$

$$2 \text{ 方向配筋の場合} : P_w = \frac{a_w 1}{s \cdot s'}$$

a_w または a_w' : 1組のせん断補強筋の断面積で、基礎梁を有する基礎スラブでは、基礎梁のせいが基礎スラブと3/4以上重なる場合は、基礎梁と重なる部分を除いた断面について P_w を算定してよい。

a_{w1} : せん断補強筋の1本あたりの断面積

s または s' : せん断補強筋の間隔

$\frac{M}{Qd}$: 基礎スラブのせん断スパン比で $\frac{a_p}{d}$ としてよい。

a_p : 柱芯から杭芯までの距離

また、解説文では偏心する1本打ち杭の基礎スラブについては、ディープビームを対象とした「ストラット・タイモデル」を考えるほうが力の流れをより合理的に評価できることから、ストラット・タイモデルによる設計についての記述が追加され、その考え方による計算例も追加された。

第1章 序論

(2) 鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)・同解説^[1-5]

1) はじめに

一般的な建築物の設計では、構造設計者は基礎梁などを設計する際に、計算外で剛性や強度について十分余裕を持たせる思想のもとに、一定の耐震性能確保を行ってきた。しかし近年、基礎構造の合理化を目指す動きが活発で、高強度材料を用いた基礎杭、施工を省力化するための大径場所打ち杭、杭頭の固定度を低下させ杭頭の曲げモーメント低減を図るためのパイルキャップ工法、経済性を考慮して基礎梁断面や根入部分を小さくできる杭頭免震工法など、従来なかった各種工法が開発されている。

また、基礎構造の大地震時の検証を行う場合には、建物全体の設計という観点から基礎構造を捉えた総合的な設計基準がなく、終局時の上部構造と基礎構造を含めた建物全体の崩壊形を確認するという設計方針が十分に確立されない状況で、設計方法や解析モデルが選択され、基礎構造の終局状態の検討が行われることがある。

以上の状況に鑑み、短期許容応力度設計で想定する地震力を超える大きな地震力に対する鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計の適切な評価方法を提示する目的で、2017年に日本建築学会より「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)・解説」が策定、刊行された。同指針では、中地震及び大地震時における基礎構造の性能設計を目的として、上部構造の耐震設計と基礎構造の耐震設計を整合させて、基礎構造部材の耐震設計を行うことを意図している。

2) 章の構成

本指針の章構成は、以下の通り。

- 1章 総則
- 2章 材料及び材料強度
- 3章 耐震目標性能と確認方法
- 4章 耐震性能の判定
- 5章 基礎構造部材の保有性能と構造規定
- 6章 杭の諸強度と変形性能の設定

3～6章の内容について2次設計に関わることを中心に示す。

3) 3章耐震目標と確認方法について

以下の節より構成される。

- 3.1 建物全体の構造システムを考慮した基礎構造部材の限界状態の定義
- 3.2 耐震性能の確認
- 3.3 基礎構造の安全限界状態の確認方法

とくに「3.3」に以下の記述がある。

安全限界状態の検証において、基礎構造は、上部構造の崩壊メカニズムに対し、先行して破壊(曲げ破壊およびせん断破壊)させないこととする。ただし、耐力壁を用いた構造で上部構造の耐力が高い場合(必要保有水平耐力時ベースシヤール係数 $CBU \geq 0.4$) は、上部構造の必要保有水平耐力時 もしくは基礎構造に必要な保有水平耐力時に対し、基礎構造が脆性破壊(せん断破壊、曲げ圧縮破壊、斜張力破壊、パンチングシヤール破壊)しないことを確認する。この場合においても基礎構造が保有する水平耐力

はベースシヤール係数にして0.4以上を確保する。

4) 4章耐震性能の判定について

以下の節より構成され、上部構造及び基礎構造のモデル化、設計条件設定、設計手法など基礎構造部材の耐震性能判定の基礎となることが記述されている。

- 4.1 モデル化の一般原則
- 4.2 設計カテゴリー
- 4.3 解析モデルカテゴリー
- 4.4 設計の原則
- 4.5 部材の保証設計

「4.2」では損傷限界設計時と安全限界設計時における設計カテゴリーが示された。

表 1.2.2-1 安全限界設計時の設計カテゴリーと部材状況

	設計カテゴリー		部材・部位の降伏・未降伏			
	上部	下部	基礎梁, マットスラブを除く上部構造	基礎梁, マットスラブ	杭	パイルキャップ
損傷限界設計時	弾性	弾性	損傷限界耐力以下	損傷限界耐力以下	損傷限界耐力以下	損傷限界耐力以下
安全限界設計時	弾性	弾性	未降伏	未降伏	未降伏	曲げ降伏およびせん断破壊を許容しない
	塑性	弾性	降伏を許容	未降伏	未降伏	
	塑性	塑性	降伏を許容	未降伏	降伏を許容	
	塑性	塑性	—	降伏を許容	—	
	弾性	塑性	未降伏	未降伏	降伏を許容	

第1章 序論

「4.3」では以下の4つの解析モデルカテゴリーが示された。

解析モデルカテゴリー①：上部構造・基礎構造一体，多層地盤モデル(一体型)

解析モデルカテゴリー②：上部構造・基礎構造分離，多層地盤モデル(分離型1)

解析モデルカテゴリー③：上部構造・基礎構造分離，単杭・多層地盤モデル(分離型2)

解析モデルカテゴリー④：上部構造・基礎構造分離，単杭・一様地盤モデル(分離型3)

解析モデルカテゴリーと解析条件を下表に示す。

表 1.2.2-2 解析モデルカテゴリーと解析条件

モデル名称		① 一体型 上部構造・基礎構造一体型モデル (複数杭，基礎梁剛性考慮，多層地盤)	② 分離型1 上部構造・基礎構造分離モデル (複数杭，基礎梁剛性考慮，多層地盤)	③ 分離型2 上部構造・基礎構造分離モデル (単杭，剛基礎，多層地盤)	④ 分離型3 上部構造・基礎構造分離モデル (単杭，剛基礎，一様地盤)
解析条件	仮定地盤	一様地盤または多層地盤			一様地盤
	杭	非線形(変動軸力考慮)		非線形	等価線形
	杭頭回転ばね	有(非線形，変動軸力考慮)		有(非線形)	無(必要に応じて固定度で対応)
	杭頭鉛直ばね	有(非線形，変動軸力考慮)		無(必要に応じて固定度で対応)	
	水平地盤ばね	非線形			線形(代表的な等価地盤反力係数を設定)
	地盤変位	考慮(必要に応じて)			考慮せず
	杭周摩擦ばね	必要に応じて考慮(非線形)		考慮せず	
	杭先端ばね	必要に応じて考慮(非線形)		考慮せず	
	上部構造との応力連続性	全体モデルに水平荷重を入力	上部構造からの反力を杭・基礎モデルに入力	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎剛 ・基礎モデルを別途用意し，上部構造からの反力および杭からの反力を基礎モデルに入力 	

「4.4」は以下の項より構成され，基礎構造部材の耐震性能判定手順や解析カテゴリーの適用条件が示された。

- 4.4.1 基礎構造部材の耐震性能判定
- 4.4.2 解析モデルカテゴリーの適用条件
- 4.4.3 設計用地震力および設計用地盤変位
- 4.4.4 応答値の算定
- 4.4.5 不確定性要因および応答値割増係数
- 4.4.6 解析モデルカテゴリーの選択と応答値の割増し

「4.4.1」では以下の耐震性能判定手順が示された。

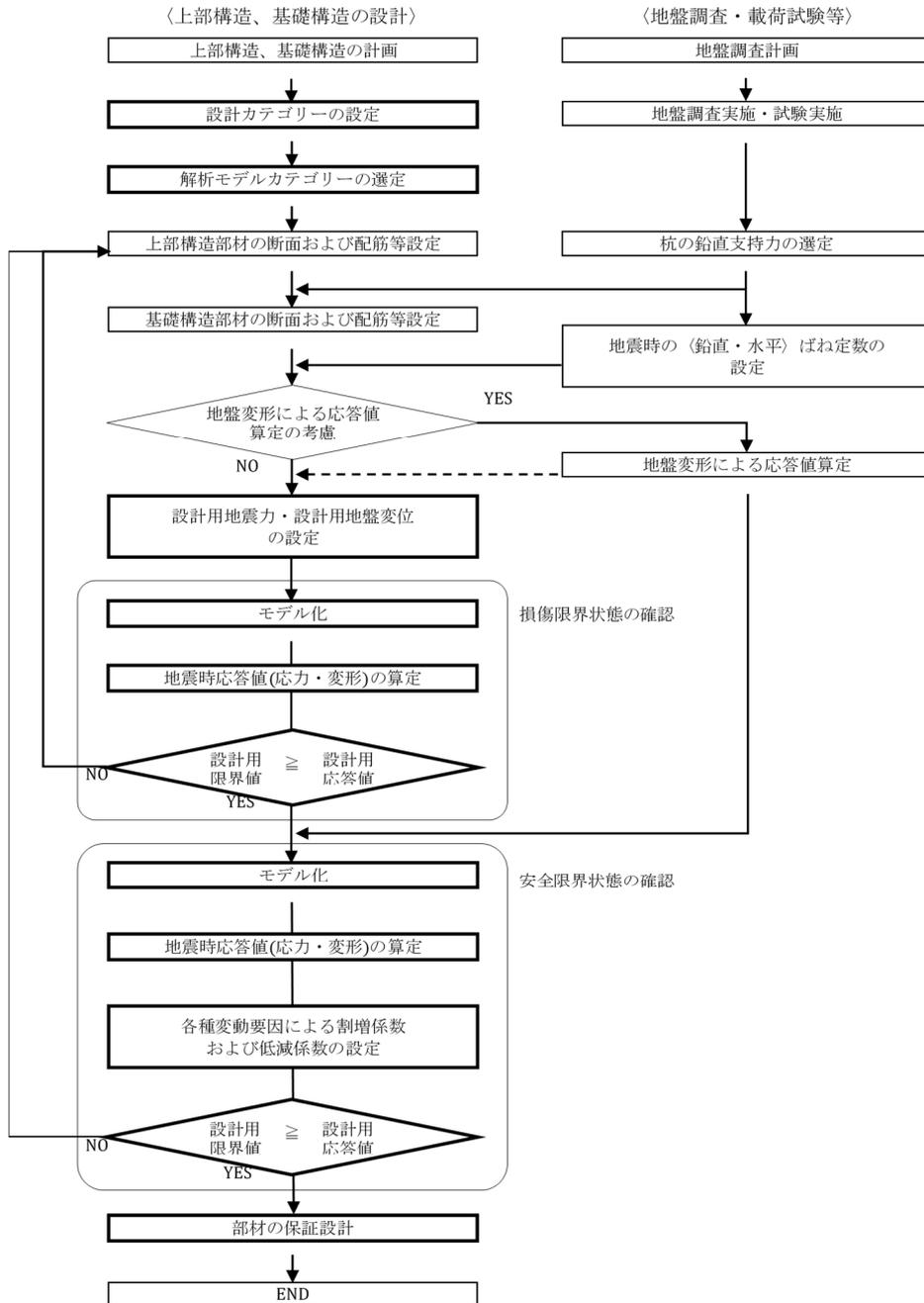


図 1.2.2-1 耐震性能判定手順^[1-5]

第1章 序論

「4.4.2」では、基礎梁に降伏を許容する場合は解析モデルカテゴリー①(一体型)、杭に引抜き力を期待する場合は解析モデルカテゴリー①(一体型)または②(分離型 1)とすることなどが示された。解析モデルカテゴリーと適用条件を下表に示す。

表 1.2.2-3 解析モデルカテゴリーと適用条件

モデル名称		①一体型	②分離型 1	③分離型 2	④分離型 3	
		(複数杭, 基礎梁剛性考慮, 多層地盤)	(複数杭, 基礎梁剛性考慮, 多層地盤)	(単杭, 基礎梁剛, 多層地盤)	(単杭, 基礎梁剛, 一様地盤)	
適用条件	1.設計用カテゴリー	杭の状態	杭頭曲げ降伏許容(引張力を受ける杭は杭中間部の曲げ降伏も許容)		降伏ヒンジの発生を許容しない	
		基礎梁の状態	曲げ降伏を許容	曲げ降伏を許容しない		
		杭の引抜き抵抗	杭の引抜き抵抗力考慮可		杭の引抜き抵抗力考慮不可	
		浮上り	浮上り可	浮上り不可		
	2.上部構造	柱軸力変動率	規定しない		柱軸力変動率<50%	
	3.基礎構造	基礎梁剛性	基礎梁が剛と仮定できるほどの剛性がない場合でも可		基礎梁が剛と仮定できる剛性あり(杭径の1.5倍以上の基礎梁せい)	
		杭頭半剛接合	適用可		適用不可	
	4.地盤	地盤構成	—			一様地盤と仮定できる場合
		地盤反力係数	各層の地盤反力係数を弾塑性で設定する			代表的な等価地盤反力係数を設定
		液状化	液状化のおそれがある場合でも適用可			液状化のおそれなし
		固有周期	規定しない			$T_g(\text{弾性周期}) \leq 0.75$ 秒および「基礎指針」にて軟弱地盤と判定される場合以外

「4.4.3」では、安全限界設計用地震力を基礎構造に要求する性能に応じて表 1.2.2-4 に示すように設定し、各要求性能レベルに応じた設計用地震力および地震荷重を表 1.2.2-5 に示す方法で設定することが示された。

表 1.2.2-4 基礎構造要求性能レベルと基礎構造設計用地震力の設定方法

要求性能レベル	基礎構造の要求性能	設計用地震力の算定方法
I	基礎構造が先行して破壊しない	上部構造の保有水平耐力に基づく数値以上
II	地上部の必要保有水平耐力以上、あるいは地上部の必要保有水平耐力の担保	上部構造の必要保有水平耐力に基づく数値以上
III	設計者の設定した目標値以上の耐力確保	基礎構造の耐震目標性能に基づく数値以上

表 1.2.2-5 基礎構造部材の設計用地震荷重の設定方法

要求性能 レベル	杭頭水平力(設計用地震力)=基礎の層せん断力 Q_f =1階の地震層せん断力 Q_1 +地下階の地震力 H_i		地盤応答変位 (設計用地盤変位)
	1階の地震層せん断力 Q_1	地下階の地震力 H_i	
I	上部構造の保有水平耐力相当(崩壊メカニズム時もしくは限界層間変形時)の地震層せん断力以上	設定した 1 階の地震層せん断力に対応する設計用地下震度から設定した地震力以上	工学的基盤で定義された入力地震動による応答変位またはそれを増幅した変位
II	上部構造の必要保有水平耐力相当の地震層せん断力以上		工学的基盤で定義された入力地震動による応答変位
III	設計者が設定した基礎構造の耐震性能の目標値		

「4.5」では部材の保証設計として、構造部材の設計用限界値の算定方法やパイルキャップ、杭体接合部に関する事項が記述されている。

5) 5章基礎構造部材の保有性能と構造規定について

以下の節より構成され、基礎構造部材の損傷限界状態及び安全限界状態における設計限界値設定のための限界値算定式と低減係数が示された。

- 5.1 設計用限界値の算定
- 5.2 基礎梁
- 5.3 マットスラブ
- 5.4 場所打ちコンクリート杭
- 5.5 既製コンクリート杭
- 5.6 パイルキャップ

「5.2」では基礎梁の損傷限界状態及び安全限界状態における設計限界値設定のための限界値算定式と低減係数が示された。安全限界値の算定および安全限界設計用限界値設定のための低減係数は、次の(a)～(c)による。

(a) 安全限界曲げ強度

基礎梁の安全限界曲げ強度(以下、単に曲げ強度という)は、精算式によることを原則とするが、下式によってもよい。なお、引張側にスラブが接続する場合は、曲げ強度に有効な範囲内のスラブ筋を考慮する。

$$M_{uF} = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d$$

記号

- M_{uF} : 基礎梁の曲げ終局強度(N・mm)
- a_t : 基礎梁の引張鉄筋断面積(mm²)
- σ_y : 基礎梁主筋の規格降伏点(N/mm²)
- d : 基礎梁の有効せい(mm)

(b) 安全限界せん断強度

基礎梁の安全限界せん断強度(以下、単にせん断強度という)は、下式による。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053p_t^{0.23}(F_c + 18)}{M/(Q \cdot d) + 0.12} + 0.85\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} b \cdot j$$

記号

- Q_{su} : 基礎梁の安全限界せん断強度(N)
- p_t : 引張鉄筋比(%)
- F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)
- M/Q : M, Q は強度算定時における最大曲げモーメントおよびせん断力(ただし、 $M/(Q \cdot d)$ は $M/(Q \cdot d) < 1$ のとき 1 とし、 $M/(Q \cdot d) > 3$ のとき 3 とする)(mm)
- d : 基礎梁の有効せい(mm)
- p_w : 基礎梁のせん断補強筋比
- σ_{wy} : せん断補強筋の規格降伏点(N/mm²)
- b : 基礎梁の幅(mm)
- j : 応力中心距離(mm)で、 $(7/8)d$ としてよい

(c) 低減係数

安全限界状態における低減係数は 1.0 とする。

安全限界設計時に曲げ降伏を許容する基礎梁の安全限界変形角は、せん断強度に対する安全限界設計時の設計用せん断力の比に応じて、適切に定める。

(構造規定)

- ・ 基礎梁主筋は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010)」17 条の規定に準じて必要な定着長さを確保することとする。
- ・ 基礎梁主筋の配筋は 2 段筋までを原則とするが、止むを得ない場合は有効せい d および付着特性を考慮することを条件に 3 段筋とすることができる。

「5.3」ではマットスラブの損傷限界状態及び安全限界状態における設計限界値設定のための限界値算定式と低減係数が示された。

(適用条件)

- ・ 杭に直接支持され、かつ、梁形のない基礎スラブとする。
- ・ 地震時に応力抵抗機構を形成する基礎スラブとする。
- ・ 柱直下に杭(単杭または複数杭)が設けられた基礎スラブとする。
- ・ 柱のせいまたは杭の直径は、各方向の柱中心間距離の $1/20$ 以上とする。
- ・ スパンはほぼ均等とし、地震力の作用方向の柱前後の隣接スパンにおいても、直交する両方向についても原則として小さい方のスパンは大きい方のスパンの 80% 以上とする。

(本文)

安全限界値および設計用安全限界値設定のための低減係数は、次の (a)～(c) による。

(a) 曲げ強度

マットスラブの安全限界曲げ強度は、適切な式によるか、次式による。

$$M_u = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d$$

記号

M_u : マットスラブの曲げ強度(N・mm)

a_t : マットスラブ有効幅 b_{su} 内に配置された引張鉄筋断面積(mm²)

σ_y : 同上鉄筋の材料強度(N/mm²)とし、JIS 鉄筋では規格降伏点の 1.1 倍を用いることができる。

d : マットスラブの有効せい(mm)

b_{su} : 安全限界時のマットスラブ有効幅は隣接する架構間の全幅とする。

(b) パンチングシヤー検討用の安全限界せん断強度および安全限界曲げ強度

$$V_u/V_0 + M_u/M_0 \leq 1$$

記号

V_u : マットスラブの安全限界設計用せん断力(N)

M_u : マットスラブの安全限界設計用曲げモーメント(N・mm)

第1章 序論

V_0 : マットスラブの安全限界せん断強度(N)

M_0 : マットスラブの安全限界曲げ強度(N)

a) 限界せん断強度

$$V_0 = A_c \cdot \tau_u$$

記号

V_0 : マットスラブの安全限界せん断強度(N)

A_c : パンチング算定断面における鉛直断面積の和(mm²)。また、マットスラブ上下に接続する鉛直部材の断面が異なる場合には、上下の柱と杭における A_c の平均値を用いる。

τ_u : コンクリートの直接せん断強度(N/mm²)で、次式による。

$$\tau_u = 0.335 \cdot \sqrt{\sigma_B} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

σ_B : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)で、設計基準強度とする。

b) 安全限界曲げ強度

$$M_0 = {}_sM_f + {}_sM_s + {}_sM_t$$

記号

M_0 : マットスラブの安全限界曲げ強度(N)

${}_sM_f$: マットスラブ内のパンチング算定断面幅内の主筋により伝達される安全限界曲げ強度(N・mm)で、次式による。

${}_sM_f = 0.9 \Sigma (a_t \cdot \sigma_y \cdot d)$ とし、 Σ は、柱の左右において引張りとなるスラブ下端筋による曲げ強度の合計とする。

a_t : パンチング算定断面幅($c_2 + d$)内に配筋された引張鉄筋断面積(mm²)

σ_y : 同上引張筋の材料強度(N/mm²)

d : マットスラブの有効せい(mm)

${}_sM_s$: パンチング算定断面の前・後面のコンクリートの直接せん断力により伝達される安全限界曲げ強度(N・mm)で、次式による。

$${}_sM_s = d \cdot (c_1 + d) \cdot (c_2 + d) \cdot \tau_u \quad \text{中柱}$$

$${}_sM_s = d \cdot (c_1 + d) \cdot (c_2 + d/2) \cdot \tau_u \quad \text{側柱 A}$$

$${}_sM_s = d \cdot (c_1 + d) \cdot (c_2 + d) \cdot \tau_u / 2 \quad \text{側柱 B}$$

$${}_sM_s = d \cdot (c_1 + d) \cdot (c_2 + d/2) \cdot \tau_u / 2 \quad \text{隅柱}$$

${}_sM_t$: パンチング算定断面の両側面のねじりにより伝達される安全限界曲げ強度(N・mm)で次式による。ただし、側柱 A および隅柱については、十分な引出しスラブがない場合は次式で求まる数値の 1/2 とする。

$${}_sM_t = 6 \cdot d^2 \cdot [c_1 + (2/3) \cdot d] \cdot \tau_u$$

τ_u : コンクリートの直接せん断強度(N/mm²)

c_1 : マットスラブに接続する長方形柱のせい(mm)

c_2 : マットスラブに接続する長方形柱の幅(mm)

ここで、円形断面の場合における c_1 および c_2 については、 $[\pi(D + d)/4 - d]$ に置き換えて算定する。また、マットスラブの上下において異なる形状の鉛直断面部材が配置される場合には、各 c_1 および c_2 を算定し、その平均値を用いる。

(c) 安全限界状態における低減係数

設計用限界値設定のための低減係数は、1.0以下とする。

(構造規定)

- ・ マットスラブ各方向の全幅について、引張鉄筋のコンクリート断面積に対する割合は0.2%以上とする。
- ・ 柱間帯及び柱列帯に配筋される引張鉄筋断面積は、それぞれについて $0.004b_{sy} \cdot d$ 以上、 $0.004b_{su} \cdot d$ 以上とする。 $(b_{sy}$ ：損傷限界時のマットスラブ有効幅。 b_{su} ：安全限界時のマットスラブ有効幅)
- ・ マットスラブのせん断補強筋比は、柱列帯においては0.2%以上とし、その他の部分においては0.1%以上とし、かつD13以上の鉄筋を350mm以下、またはマットスラブ厚の1/2以下の間隔で配筋する。
- ・ 腹筋は、マットスラブ厚さに応じてD13以上の鉄筋を500mm以下の間隔でX,Y両方向に配筋する。
- ・ 外周部や隅角部では、マットスラブの主筋を柱や杭との連続性を考慮した定着方法とする。
- ・ 外周部は250mm以上の厚さの壁を設けるか、あるいははね出しスラブとする。

「5.4」では場所打ちコンクリート杭及び場所打ち鋼管コンクリート杭の損傷限界状態及び安全限界状態における設計限界値設定のための限界値算定式と低減係数が示された。

「5.4.1 場所打ちコンクリート杭」について

(適用条件)

- ・ 杭の工法及び仕様は、JASS4による。
- ・ コンクリートは普通コンクリート、コンクリートの設計基準強度は、 21N/mm^2 以上 40N/mm^2 以下とする。鉄筋の種別は、SD295A,SD295B,SD345,SD390,SD490及び高強度せん断補強筋とする。
- ・ 杭頭接合部は、主筋をパイルキャップへ定着する方法による。

(本文)

安全限界値および設計用安全限界値設定のための低減係数は下記による。

(a) 曲げ強度

場所打ち鉄筋コンクリートの曲げ強度は、応力度とひずみの関係をコンクリートについてはe関数法などの適切な方法で、鉄筋については材料強度を折れ点とするバイリニアで設定し、断面の平面保持を仮定した曲げ解析によって算定する。コンクリートの圧縮縁のひずみが圧縮限界ひずみ ϵ_{cu} に達したときの曲げモーメントを、曲げ強度とする。

なお、コンクリートの圧縮に対する材料強度は $\xi \cdot F_c$ とし、圧縮限界ひずみ ϵ_{cu} は0.003とする。軸方向力を杭の断面積で除した平均軸方向応力度 $\sigma_0(\text{N/mm}^2)$ の範囲は、 $-0.05 \xi \cdot F_c$ 以上かつ $(1/3)\xi \cdot F_c$ 以下とする(ただし、圧縮を正とする)。

(b) せん断強度

場所打ち鉄筋コンクリート杭のせん断強度は、円形断面を等価長方形断面に置換した下式で算定する。

$$Q_u = \left[\frac{0.053p_t^{0.23}(18 + \xi \cdot F_c)}{M/(Q \cdot d) + 0.12} + 0.85\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} + 0.1\sigma_0 \right] b \cdot j$$

第1章 序論

記号

Q_u : 場所打ち鉄筋コンクリートのせん断強度(N)

$M/(Q \cdot d)$: せん断スパン比で、1.0 以下の場合には 1.0, 3.0 以上の場合には 3.0 とする。

M : 杭に生じる最大曲げモーメント(N・mm)

Q : 杭に生じる最大せん断力(N)

d : 等価長方形断面の有効せい(mm)で、 $d=0.9D$ としてよい。

D : 杭直径(mm)

p_t : 引張鉄筋比(%)で、 $p_t = p_g/4$ としてよい。

p_g : 主筋比(%)($p_g = \frac{100A_g}{b \cdot d}$)

A_g : 主筋全断面積(mm²)

b : 等価長方形断面の幅(mm)で、 $b=(\pi/4)D$ としてよい。

F_c : 杭のコンクリートの設計基準強度(N/mm²)

ε : 場所打ち鉄筋コンクリート杭の施工の品質管理に関する係数で、通常の施工品質管理を行う場合には 0.75 以下、高品質な施工管理を行う場合には 1.0 以下とする。

p_w : せん断補強筋比($p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$)

a_w : 1組のせん断補強筋の断面積(mm²)

x : せん断補強筋のピッチ(mm)

σ_{wy} : せん断補強筋の規格降伏点(N/mm²)

σ_0 : 平均軸方向応力度(N/mm²)で、圧縮を正とし、0 以上かつ $(1/3)\varepsilon \cdot F_c$ 以下とする。

j : 応力中心距離(mm)で、 $j=(7/8)d$ としてよい。

(c) 低減係数

設計用曲げ強度算定用の低減係数は 0.95 以下とする。設計用せん断強度算定用の低減係数は 0.8 以下とする。

杭頭部における安全限界状態設計用の曲げ降伏後の限界塑性変形角は、原則として 1/100 以下とする。ただし、平均軸方向応力度 σ_0 (N/mm²)の範囲は 0 以上かつ $(1/3)\xi \cdot F_c$ 以下、主筋比は 1.8%以下とする。なお、実験等により限界塑性変形角を求める場合には、当該数値によることができる。

(構造規定)

- 主筋を重ね継手とする場合は $40d_b$ (d_b : 異形鉄筋の呼び名に用いた数値)以上とする。
- 曲げ降伏を許容する部分では、主筋にせん断補強筋を溶接してはならない。
- 主筋を束ねる場合、2 本以下とする。
- 主筋は一段配筋とする。
- 主筋比 p_g は、0.6%以上とする。ただし杭頭から杭直径の 5 倍より深い範囲では 0.4%以上としてよい。
- せん断補強筋は D10 以上の異形鉄筋を用いる。原則として杭頭から杭直径の 5 倍の深さまでの範囲においては、せん断補強筋の間隔を 150 mm以下とし、かつせん断補強筋比 p_w を 0.1%以上とする。

る。杭頭から杭直径の5倍より深い範囲では、せん断補強筋の間隔を300mm以下としてよい。

「5.4.2 場所打ち鋼管コンクリート杭」について

(適用条件)

- ・ 鋼管と鋼管内コンクリートの合成断面が外力に対して一体挙動することが確認された工法で、施工管理方法が確立し、かつ、適切な管理の下で施工される工法とする。
- ・ 原位置地盤の掘削方法は、アースドリル工法、リバースサーキュレーション工法、オールケーシング工法とする。
- ・ コンクリートは普通コンクリート、コンクリートの設計基準強度は、 21N/mm^2 以上 40N/mm^2 以下とする。鉄筋の種別は、SD295A,SD295B,SD345,SD390,SD490 及び高強度せん断補強筋とする。鋼管はSKK400,SKK490 とする。
- ・ 鋼管の現場継手は、適切な管理の下で施工される溶接継手とする。
- ・ 杭頭接合部は、定着鉄筋にてパイルキャップに定着する接合方法とする。これ以外の接合方法を用いる場合は、信頼できる資料等によるものとする。

(本文)

(a) 安全限界状態における鋼管コンクリート部の圧縮ひずみの限界値(曲げ強度，せん断強度)は、下記1)および2)による。なお、鋼管の腐食しろは、施工法に応じて適宜考慮する。また、鉄筋コンクリート部の限界値は「5.4.1」による。

a) 曲げ強度

曲げ強度は、応力度とひずみの関係を鋼管については材料強度を折れ点として引張強さの85%強度を限界値とするバイリニア、鋼管コンクリート部内のコンクリートについてはe関数法等、鋼管内に主筋が配置されている場合の杭主筋については材料強度を折れ点とするバイリニアの骨格曲線で設定し、断面の平面保持を仮定した方法により算定する。

このとき、曲げ強度は、鋼管の圧縮縁の応力度が引張強さの85%強度に達したとき、または圧縮側コンクリートが圧縮限界ひずみ ϵ_{cu} に達したときの曲げモーメントのうち、小さい方の数値とする。ただし、コンクリートの圧縮に対する材料強度は $\xi \cdot F_c$ とし、圧縮限度ひずみ ϵ_{cu} は0.003とする。軸方向力を杭の換算断面積(コンクリート断面に鋼管の有効断面積にヤング係数比を乗じた数値を加算した数値。なお、鉄筋を配した場合は、鉄筋の断面積にヤング係数比を乗じた数値をさらに加算する)で除した平均軸方向応力度 σ_0 の範囲は、 $-0.07\xi \cdot F_c$ 以上かつ $0.15\xi \cdot F_c$ 以下とする(ただし圧縮を正とする)。

b) せん断強度

せん断強度は、下式による。

$$Q_u = {}_s Q_0 \sqrt{1 - \eta^2} \cdot \frac{{}_{sc} M_u}{{}_s M_u}$$

記号

Q_u : 鋼管コンクリート部のせん断強度(N)

${}_s Q_0$: 軸方向力が作用しないときの鋼管のせん断強度(N)で、次式による。

$${}_s Q_0 = \frac{2t(D-t){}_s \sigma_y}{\sqrt{3}}$$

第1章 序論

D : 鋼管の直径(mm)

T : 腐食しを考慮した鋼管の板厚(mm)

${}_s\sigma_y$: 鋼管の材料強度(N/mm²)

η : 軸力比で、次式による。

$$\eta = \frac{N}{{}_sN_{cu}}$$

N : 設計用軸方向力(N)

${}_sN_{cu}$: 鋼管の圧縮強度(N)で、次式による。

$${}_sN_{cu} = {}_s\sigma_y \cdot {}_sA$$

${}_sA$: 腐食しを考慮した鋼管の有効断面積(mm²)

${}_sM_u$: 鋼管コンクリート部の曲げ強度(N・mm)

${}_sM_u$: 軸方向を考慮した鋼管の全塑性モーメント(N・mm)で、次式による。

$${}_sM_u = {}_sM_{u0} \cos \frac{\pi \cdot \eta}{2}$$

${}_sM_{u0}$: 軸方向が作用しないときの鋼管の全塑性モーメント(N・mm)で、次式による。

$${}_sM_{u0} = Z_p \cdot {}_s\sigma_y$$

Z_p : 鋼管の塑性断面係数(mm³)で、次式による。

$$Z_p = \frac{4}{3} R^3 \left\{ 1 - \left(1 - \frac{t}{R} \right)^3 \right\}$$

R : 鋼管の半径(mm)

c) 設計用限界値算定のための低減係数

設計用曲げ強度算定のための低減係数は 0.95 以下とし、設計用せん断強度算定のための低減係数は 0.8 以下とする。

(b) 抗体の安全限界変形角および設計用安全限界変形角設定用の低減係数は、原則として下記 1) および 2) による。ただし、実験等により安全限界変形角および設計用安全限界変形角および設計用安全限界変形角設定用の低減係数は前項による。

a) 安全限界変形角

鋼管コンクリート部の安全限界変形角は、下式による。

$$R_u = 7.5 - \frac{{}_c\sigma_B - 39}{55} - 0.05 \frac{D}{t} \sqrt{\frac{{}_s\sigma_y}{324}} - 5.0 \frac{N}{N_0}$$

記号

R_u : 鋼管コンクリート部の安全限界変形角

t : 腐食しを考慮した鋼管の板厚(mm)

D : 鋼管の直径(mm)

N : 鋼管コンクリートに作用する軸方向力(N)

N_0 : 鋼管コンクリート部の圧縮強度(N)で、次式による。

$$5A = {}_sA \cdot {}_s\sigma_y + {}_cA \cdot {}_c\sigma_B$$

${}_sA$: 腐食しを考慮した鋼管の有効断面積(mm²)

${}_s\sigma_y$: 鋼管の材料強度(N/mm²)

${}_cA$: 鋼管コンクリート部内のコンクリートの断面積(mm²)

${}_c\sigma_B$: 鋼管コンクリート部内のコンクリート圧縮強度(N/mm²)で、設計基準強度とする。

b) 設計用安全限界変形角設定用の低減係数

鋼管コンクリート部の設計用安全限界変形角を設定するための低減係数は、0.95以下とする。

(c) 杭頭接合部の安全限界変形角および設計用安全限界変形角設定用の低減係数は、下記 a) および b) または実験により定める。ただし、パイルキャップコンクリートの材料強度は F_c とし、圧縮限界ひずみ ϵ_{cu} は0.003とする。

a) 安全限界変形角

杭頭接合部の安全限界変形角は、接合面での補正応力度分布を用いて、平面保持を仮定した場所打ちコンクリート杭の曲げ強度の算定方法を用いて算定する。ただし、接合面での補正応力度分布を適切に設定できない場合は、接合部を鋼管の直径+200 mmの仮想鉄筋コンクリート断面として安全限界変形角を算定してもよい。

$$\theta_u = 15 \times \theta_y$$

記号

θ_u : 場所打ち鋼管コンクリート杭の杭頭接合部の限界変形角(rad)

θ_y : 場所打ち鋼管コンクリート杭の杭頭接合部の降伏変形角(rad)で、次式による。

$$\theta_y = {}_r\phi_{ty} \cdot L_d$$

${}_r\phi_{ty}$: 鋼管の直径+200 mmの仮想鉄筋コンクリート断面において、引張側最外縁の定着鉄筋が材料強度に達したときの曲率(mm⁻¹)

L_d : 定着鉄筋の付着長さ(mm)で、次式による。

$$L_d = \lambda \cdot \alpha \cdot \frac{S \cdot {}_r\sigma_y \cdot d_b}{10 \cdot f_b}$$

λ : 付着長さの補正係数で、 $\lambda=0.86$ とする。

α : 割裂破壊に対する補正係数で、横補強筋で拘束されたコア内に定着する場合は1.0、それ以外の場合は1.25とする。

S : 必要長さの修正係数で、直線定着する定着鉄筋の場合1.0とする。

${}_r\sigma_y$: 定着鉄筋の材料強度(N/mm²)

d_b : 定着鉄筋の呼び名に用いた数値(mm)

f_b : 付着割裂の基準となる強度(N/mm²)で、次式による。

$$f_b = \frac{F_c}{40} + 0.9$$

F_c : パイルキャップコンクリートの設計基準強度(N/mm²)

b) 安全限界変形角設定用の低減係数

設計用安全限界変形角を設定するための低減係数は、0.95以下とする。

(構造規定)

- 鋼管の直径は600 mm以上2500 mm以下とする。

第1章 序論

- ・ 鋼管の板厚は 6 mm 以上かつ鋼管の直径の 1/100 以上とする。
- ・ 鋼管の長さは、原則として鋼管の直径の 5 倍以上とする。なお、鋼管と鋼管内コンクリートの合成断面が外力に対して一体挙動することが確認できる場合はこの限りではない。
- ・ 鉄筋コンクリート部の主筋と鋼管の重ね継手は原則として $45 d_b$ (d_b : 異形鉄筋の呼び名に用いた数値) とする。なお、外力により杭体に生じる応力が継手部を通して鋼管コンクリート部及び鉄筋コンクリート部に伝達することが確認できる場合は、この限りではない。
- ・ 鉄筋コンクリート部については場所打ちコンクリート杭に同じ。

「5.5」では PHC 杭及び PRC 杭の損傷限界状態及び安全限界状態における設計限界値設定のための限界値算定式と低減係数が示された。

「5.5.1 PHC 杭」について

(適用条件)

- ・ 材料及び品質は、JISA 5373 または指定性能評価機関等の評定基準を満たすものとする。杭体のコンクリートの設計基準強度は 80 N/mm^2 以上 105 N/mm^2 以下とする。
- ・ PHC 杭に作用する軸方向力は、ゼロまたは圧縮力とする。
- ・ 杭どうしの接合部は安全限界設計時の軸方向力、曲げモーメントならびにせん断力を確実に伝達できるものとする。
- ・ 杭頭接合部は、杭頭部に接合した定着筋をパイルキャップに定着する接合法(以下接合法 A)、または杭頭部をパイルキャップに埋め込む接合法(以下接合法 B)とする。

(本文)

(a) PHC 杭の安全限界値および設計用安全限界値設定のための低減係数は下記による。

a) 曲げ強度は、応力度とひずみの関係をコンクリートについてはバイリニアなどの方法で、PC 鋼材については規格降伏点と規格引張強度を折れ点とするトリリニアで設定し、断面の平面保持を仮定した曲げ解析によって算定する。圧縮側最外縁のコンクリートのひずみが限界ひずみ ξ_{cu} に達したときの曲げモーメントと、PC 鋼材の引張ひずみが限界ひずみ $\xi_{cu}(=0.05)$ に達したときの曲げモーメントのうち小さい方を、曲げ強度とする。なお、コンクリートの限界ひずみ ξ_{cu} は、コンクリートの設計基準強度 F_c が 85 N/mm^2 以下の場合には 0.0025 、 F_c が 105 N/mm^2 の場合には 0.002625 とする。平均軸方向応力度 σ_0 の範囲は $0 \sim 30 \text{ N/mm}^2$ とする。

b) せん断強度は、下式による。

$$Q_{su} = \alpha \cdot \eta \cdot \frac{t \cdot I}{S_0} \cdot \sqrt{(\sigma + 2\sigma_d)^2 - \sigma_g^2}$$

記号

Q_{su} : PHC 杭のせん断強度

α : 杭のせん断スパン比による係数で、次式による。

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1} \text{ かつ, } 1 \leq \alpha \leq 2$$

M : 杭に生じる最大曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

Q : 杭に生じる最大せん断力 (N)

d : 杭の有効せい(mm)で、次式による。

$$d = D - d_t$$

D : 杭外径(mm)

d_t : 杭の引張縁からP C鋼材までの距離(mm)

η : 寸法効果による低減係数で、次式による。

$$\eta = \frac{1800-d}{1600} \quad (270 \text{ mm} \leq d < 600 \text{ mm})$$

$$\eta = 0.75 \quad (600 \text{ mm} \leq d)$$

σ_g : 有効プレストレスを考慮した軸方向応力度(N/mm²)で、次式による。

$$\sigma_g = \sigma_e + \sigma_0$$

σ_0 : 軸方向力による平均軸方向応力度(N/mm²)で、次式による。ただし、 σ_0 の範囲は0~30(N/mm²)とする。

$$\sigma_0 = N / A_e$$

σ_d : PHC杭のコンクリートの短期許容斜張応力度(N/mm²)で、次式による。

$$\sigma_d = 1.8$$

I : PHC杭の断面二次モーメント(mm⁴)で次式による。

$$I = \pi(r_o^4 - r_i^4)/4$$

r_o : 杭の外半径(mm)

r_i : 杭の内半径(mm)

t : 杭の肉厚(mm)

S_0 : 断面芯より片側にある杭断面の断面一次モーメント(mm³)で、次式による。

$$S_0 = 2(r_o^3 - r_i^3)/3$$

c) 設計用曲げ強度算定用の低減係数は、1.0以下とする。設計用せん断強度算定用の低減係数は、1.0以下とする。

(b) PHC杭の杭頭接合部の安全限界値と設計用限界値設定のための低減係数は、下記による。

a) 接合法Aの杭頭接合部の曲げ強度は、パイルキャップが杭頭と接する中空円形断面において、コンクリートと鉄筋の応力度分布を仮定して、力の釣合い条件によって算定する。

コンクリートの安全限界支圧強度は、次式による。

$$f_{cu} = \phi_c \cdot f_c$$

記号

f_{cu} : 支圧部のコンクリートの安全限界支圧強度(N/mm²)

ϕ_c : 支圧による圧縮強度増大係数で、2.0以下とする。

f_c : パイルキャップのコンクリートの設計基準強度(N/mm²)

b) 接合法Bの杭頭接合部の曲げ強度は、PHC杭の抗体の曲げ強度と同じとする。

c) 設計用限界値設定のための低減係数は、接合法Aおよび接合法Bともに1.0以下とする。杭頭部における安全限界状態設計用の曲げ降伏後の限界塑性変形角はゼロとする。

「5.5.2 PRC杭」について

第1章 序論

(適用条件)

- 材料及び品質は、JISA 5373 または指定性能評価機関等の評定基準を満たすものとする。杭体のコンクリートの設計基準強度は 80 N/mm²以上 105 N/mm²以下とする。PC 鋼材及び軸方向鉄筋の全断面積を杭の断面積で除した比率は、2.3%以上 6.2%以下とする。
- PRC 杭に作用する軸方向力は、ゼロまたは圧縮力とする。
- 杭どうしの接合部は安全限界設計時の軸方向力、曲げモーメントならびにせん断力を確実に伝達できるものとする。
- 杭頭接合部は、杭頭部をパイルキャップに埋め込む接合方法とし、埋込み深さは杭外径の 2 倍以上とする。

(本文)

PRC 杭の安全限界値および設計用限界値設定のための低減係数は、次の(a)および(b)による。

(a) 曲げ強度は、応力度とひずみの関係をコンクリートについてはバイリニアなどの方法で、軸方向鉄筋においては規格降伏点を折れ点とするバイリニアで、PC 鋼材については規格降伏点と規格引張強度を折れ点とするトリリニアで設定し、断面の平面保持を仮定した曲げ解析によって算定する。圧縮側最外縁のコンクリートのひずみが限界ひずみ ξ_{pu} に達したときの曲げモーメントと、PC 鋼材の引張ひずみが限界ひずみ $\xi_{pu}(=0.05)$ に達したときの曲げモーメントのうち小さい方を、曲げ強度とする。コンクリートの限界ひずみ ϵ_{cu} は設計基準強度 F_c が 85N/mm² 以下の場合には 0.0025、 F_c が 105N/mm² の場合には 0.002625 とする。平均軸方向応力度 σ_0 の範囲は 0~25N/mm² とする。

(b) せん断強度は、次式による。

$$Q_u = \left[\frac{0.092k_u k_p (18 + F_c)}{M/(Q \cdot d) + 0.12} + 0.85\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} + 0.1(\sigma_0 + \sigma_e) \right] b \cdot j$$

記号

Q_u : PRC 杭のせん断強度(N)

$M/(Q \cdot d)$: せん断スパン比で、1.0 以下の場合には 1.0、3.0 以上の場合には 3.0 とする。

M : 杭に生じる最大曲げモーメント(N・mm)

Q : 杭に生じる最大せん断力(N)

d : 杭の有効せい(mm)($=D - d_t$)

D : 杭外径(mm)

d_t : 杭体コンクリートの引張縁から軸方向鉄筋芯までの距離(mm)

k_u : 断面寸法による補正係数で下表による。

表 1.2.2-6 断面寸法による補正係数 k_u

杭外径(mm)	300	350	400	450 以上
k_u	0.82	0.76	0.73	0.72

k_p : 引張鉄筋比による補正係数で、次式による。

$$k_p = 0.82(100p_t)^{0.23}$$

p_t : 引張鉄筋比($=p_g/4$)

p_g : 軸方向鉄筋比(= $(A_g)/(b \cdot d)$)

A_g : PC 鋼材および軸方向鉄筋の全断面積(mm^2)

b : 有効断面幅 $b = A_c/D$

A_c : PRC 杭のコンクリートの断面積(mm^2)で、

$$A_c = \pi(r_0^2 - r_i^2)$$

p_w : せん断補強筋比 ($p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$)

a_w : 1組のせん断補強筋の断面積(mm^2)

x : 1組のせん断補強筋の間隔(mm)

σ_{wy} : せん断補強筋の規格降伏点(N/mm^2)

σ_0 : 軸方向力による平均軸方向応力度(N/mm^2)で、圧縮を正とし、かつ $0 \sim 5\text{N/mm}^2$ とする。

σ_e : 有効プレストレス量(N/mm^2)

j : 応力中心距離(mm)で、 $j = (7/8)d$ とする。

(c) 設計用限界値算定用の低減係数は、曲げ強度とせん断強度ともに 1.0 以下とする。

PRC 杭の杭頭接合部と限界値と設計用限界値算定のための低減係数は、損傷限界設計時および安全限界設計時ともに、抗体の限界値および低減係数と同じとする。

杭頭部における安全限界設計用の曲げ降伏後の限界塑性変形角はゼロとする。

(構造規定)

杭頭接合部は接合法 B とし、抗体よりも先に損傷あるいは破壊させないことを前提とする。

「5.6」では場所打ちコンクリート杭のパイルキャップ及び既製コンクリート杭のパイルキャップの損傷限界状態及び安全限界状態における設計限界値設定のための限界値算定式と低減係数が示された。

「5.6.1 場所打ちコンクリート杭のパイルキャップ」について

基礎梁外端側(側柱及び外柱下)場所打ち鉄筋コンクリート杭のパイルキャップに適用する。両側に基礎梁が配置される場所打ち鉄筋コンクリート杭のパイルキャップに対しては特殊な条件下以外では適用条件の第一項目を除く条件を満たせば本節の検討を省略してよい。基礎梁を設けずマットスラブとする場合は適用範囲全項目を準用する。

(適用条件)

- ・ 基礎梁上端主筋のうち 1 段目主筋はパイルキャップ内に、また 1 段目主筋以外の上端筋は柱基礎梁接合部内またはパイルキャップ内に十分な定着長さを確保して定着されていることとする。また基礎梁下端筋はパイルキャップ内に十分な定着長さを確保して定着されていることとする。
- ・ コンクリートの設計基準強度は 21N/mm^2 以上 60N/mm^2 以下とする。
- ・ 鉄筋の種別は、SD295A,SD295B,SD345,SD390 とする。
- ・ 杭頭応力を伝達する軸方向鉄筋が配筋されている 1 本杭が取り付くパイルキャップを対象とする。
- ・ 柱主筋は、パイルキャップ内に十分な定着長さを確保して定着されていることとする。

第1章 序論

- ・ 杭及びパイルキャップならびに基礎梁間に極端な偏心がないものとする。
- ・ パイルキャップの上面位置は、基礎梁材軸中心位置以上とする。

(本文)

基礎梁外端側(側柱下および外柱下)のパイルキャップにおいて、杭と基礎梁が閉じる方向の力を受ける場合と杭と基礎梁が開く方向の力を受ける場合について、ひび割れや局部圧縮が生じる危険断面を設定し、それぞれの危険断面において限界値を算定する。基礎梁外端部以外のパイルキャップについては、杭頭に生じる曲げモーメントとせん断力に対する限界値を算定する。

基礎梁外端側パイルキャップにおける安全限界値および安全限界値設定のための低減係数は、次による。

(a) 閉じる方向の力を受ける場合 (図 1.2.2-2 参照)

a) 基礎梁外端側の杭頭周辺部において、杭と基礎梁が閉じる方向の力を受ける場合の危険断面を横切る有効な鉄筋によるパイルキャップの曲げ強度 M_{ju} は、下式による。

$$M_{ju} = T_{gu} \cdot d_{gx} + T_{ce} \cdot d_{ce} + T_{cm} \cdot d_{cm} + T_h \cdot d_{hy} + N_p \cdot d_{ex} + Q_p \cdot d_{ey} \quad (5.6.1)$$

記号

M_{ju} : 機器断面位置を横切る有効な鉄筋によるパイルキャップの曲げ強度(N・mm)

T_{gu} : 検討対象のパイルキャップに接続する基礎梁上端筋のうち、曲下げ定着部が危険断面を横切ってから十分な定着長さを有する上端筋による引張力(N)で、次式による。

$$T_{gu} = A_{gu} \cdot \sigma_{yg}$$

A_{gu} : 検討対象のパイルキャップに接続する基礎梁上端筋のうち、曲下げ定着部が危険断面を横切ってから十分な定着長さを有する上端筋の断面積の和(mm²)

σ_{yg} : 同上鉄筋の材料強度(N/mm²)

d_{gx} : 検討対象のパイルキャップに接続する基礎梁上端筋の曲下げ定着部の当該鉄筋重心位置から C 点までの水平距離(mm)

T_{ce} : 検討対象のパイルキャップに接続する柱の引張側端部主筋のうち、定着部が危険断面を横切ってから十分な定着長さを有する主筋による引張力(N)で、次式による。

$$T_{ce} = A_{ce} \cdot \sigma_{yce}$$

A_{ce} : 検討対象のパイルキャップに接続する柱の引張側端部主筋のうち、定着部が危険断面を横切ってから十分な定着長さを有する主筋の断面積の和(mm²)

σ_{yce} : 同上鉄筋の材料強度(N/mm²)

d_{ce} : 同上鉄筋の重心位置から C 点までの水平距離(mm)

T_{cm} : 検討対象のパイルキャップに接続する柱の中間主筋のうち、定着部が危険断面を横切ってから十分な定着長さを有する中間主筋による引張力(N)で、次式による。

$$T_{cm} = A_{cm} \cdot \sigma_{ycm}$$

A_{cm} : 検討対象のパイルキャップに接続する柱の中間主筋のうち、定着部が危険断面を横切ってから十分な定着長さを有する中間主筋の断面積の和(mm²)

σ_{ycm} : 同上鉄筋の材料強度(N/mm²)

d_{cm} : 同上鉄筋の重心位置から C 点までの水平距離(mm)

T_h : 検討対象のパイルキャップのはかまトップ筋のうち、定着部が危険断面を横切ってから

十分な定着長さを有するはかまトップ筋による引張力(N)で、次式による。

$$T_h = A_h \cdot \sigma_{yh}$$

A_h : 検討対象のパイルキャップのはかまトップ筋のうち、定着部が危険断面を横切ってから十分な定着長さを有するはかまトップ筋の断面積の和(mm²)

σ_{yh} : 同上鉄筋の材料強度(N/mm²)

d_{hy} : 同上鉄筋の重心位置から C 点までの鉛直距離(mm)

N_p : 検討対象のパイルキャップに接続する杭の杭頭に作用する軸方向力(N)で、圧縮力の場合を正、引張力の場合を負とする。

d_{ex} : 同上杭心から C 点までの水平距離(mm)

Q_p : 同上杭頭に作用する安全限界設計時水平力(N)

d_{ey} : 基礎梁材軸中心位置から C 点までの鉛直距離(mm)

なお、A 点は基礎梁下面がパイルキャップに接する点、B 点は柱外面(柱幅より基礎梁幅のほうが大きい場合には基礎梁末端面)がパイルキャップに接する点、C 点の位置は、危険断面(直線 AB)における圧縮中心位置で、直線 AB の線上で B 点から直線 AB の長さの 0.8 倍の長さの位置とする。

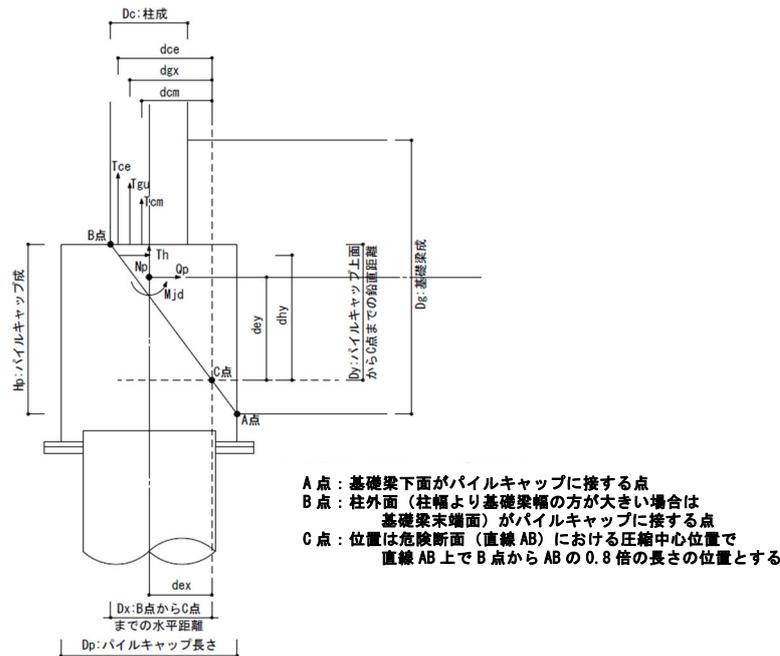


図 1.2.2-2 (5.6.1) 式の記号の説明^[1-5]

b) 低減係数は、1.0 以下とする。

(b) 開く方向の力を受ける場合 (図 1.2.2-3 参照)

a) 基礎梁外端側の杭頭周辺部において、杭と基礎梁が開く方向の力を受ける場合の危険断面を横切る有効な鉄筋によるパイルキャップの曲げ強度 M_{ju} は、下式による。

$$M_{ju} = T_{gb} \cdot d_{gy} + T_{pt} \cdot d_{px} + (T_c + T_{pc} + T_{gu}) \cdot d_{x2}/2 + N_p \cdot d_{x2}/2 - Q_p \cdot d_{y2}/2 \quad (5.6.2)$$

記号

第1章 序論

M_{ju} : 危険断面位置を横切る有効な鉄筋によるパイルキャップの曲げ強度(N・mm)

T_{gb} : 検討対象のパイルキャップに接続する基礎梁上端筋のうち、第1危険断面(直線 AC)を横切ってから十分な定着長さを有する下端筋による引張力(N)で、次式による。

$$T_{gb} = A_{gb} \cdot \sigma_{ygb}$$

A_{gb} : 基礎梁下端筋のうち、第1危険断面(直線 AC)を横切ってから十分な定着長さを有する基礎梁下端筋の断面積の和(mm²)

σ_{ygb} : 同上鉄筋の材料強度(N/mm²)

d_{gy} : 同上鉄筋の重心位置から C 点までの鉛直距離(mm)

T_{pt} : 杭の軸方向鉄筋のうち、引張縁近傍にあり、定着部が第1危険断面(直線 AC)を横切ってから十分な定着長さを有する杭の軸方向鉄筋による引張力(N)で、次式による。

$$T_{pt} = A_{pt} \cdot \sigma_{yp}$$

A_{pt} : 杭の軸方向鉄筋のうち、引張縁近傍にあり、定着部が第1危険断面(直線 AC)を横切ってから十分な定着長さを有する杭の軸方向鉄筋の断面積の和(mm²)

σ_{yp} : 同上鉄筋の材料強度(N/mm²)

d_{px} : 同上鉄筋の重心位置から C 点までの水平距離(mm)

T_c : 柱の全主筋のうち、第2危険断面(直線 BCD)を横切ってから十分な定着長さを有する柱主筋による引張力(N)で、次式による。

$$T_c = A_c \cdot \sigma_{yc}$$

A_c : 柱の全主筋のうち、第2危険断面(直線 BCD)を横切ってから十分な定着長さを有する柱主筋の断面積の和(mm²)

σ_{yc} : 同上鉄筋の材料強度(N/mm²)

T_{pc} : 杭の軸方向鉄筋のうち、杭心よりも圧縮側にあり、定着部が第2危険断面(直線 BCD)を横切ってから十分な定着長さを有する杭の軸方向鉄筋による引張力(N)で、次式による。

$$T_{pc} = A_{pc} \cdot \sigma_{yp}$$

A_{pc} : 杭の軸方向鉄筋のうち、杭心よりも圧縮側にあり、定着部が第2危険断面(直線 BCD)を横切ってから十分な定着長さを有する杭の軸方向鉄筋の断面積の和(mm²)

T_{gu} : 基礎梁下端1段目主筋以外の曲上げ定着部のうち、第2危険断面(直線 BCD)を横切ってから十分な定着長さを有する基礎梁下端による引張力(N)で、次式による。

$$T_{gu} = A_{gu} \cdot \sigma_{ygv}$$

A_{gu} : 基礎梁下端1段目主筋以外の曲上げ定着部分のうち、第2危険断面(直線 BCD)を横切ってから十分な定着長さを有する基礎梁下端の断面積の和(mm²)

σ_{ygv} : 同上鉄筋の材料強度(N/mm²)

d_{x2} : 第2危険断面(直線 BCD)の水平投影長さ(mm)

N_p : 杭頭に作用する安全限界状態における軸方向力(N)で、圧縮力の場合を正、引張力の場合を負とする。

Q_p : 杭頭に作用する安全限界状態におけるせん断力

d_{y2} : 第2危険断面(直線 BCD)の鉛直投影長さ(mm)

なお、危険断面位置設定のための A,B,C,D の各点の位置は、下記による。

- ・ A 点：基礎梁下端とパイルキャップ側面の交点
- ・ B 点：基礎梁下端1段目主筋の曲上げ定着部の鉄筋のパイルキャップ側面からの位置(d_{bx})および基礎梁下端1段目主筋の基礎梁底面からの位置(d_{by})により定まる点
- ・ D 点：杭の最下縁引張鉄筋の定着末端より $8d_b$ (d_b ：杭の引張鉄筋の呼び名に用いた数値)手前の位置(d_{dy})および杭引張主筋のパイルキャップ側面からの位置(d_{dx})により定まる点
- ・ C 点：直線 BD と杭の材軸中心線との交点

b) 低減係数は 0.8 以下とする。

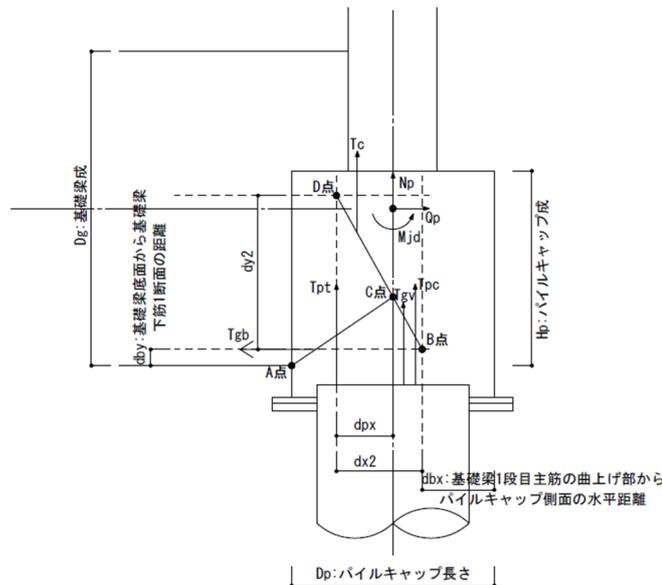


図 1. 2. 2-3 (5. 6. 2) 式の記号の説明^[1-5]

(構造規定)

- ・ 安全限界状態における応力をパイルキャップ周辺の部材に確実に伝達できる形状および配筋とする。
- ・ パイルキャップの高さは、原則として 1500 mm 以上かつ(杭径 - 200 mm)以上とする。
- ・ パイルキャップ上面位置は、基礎梁材軸中心位置以上とする。
- ・ パイルキャップ内のベース筋及びはかまトップ筋、縦筋、横筋は、両方向に同量の鉄筋を配置する。

「5.6.2 既製コンクリート杭のパイルキャップ」について

下記の条件を満たす既製コンクリート杭のパイルキャップの限界値及び設計用限界値設定のための低減係数に適用する。

(適用条件)

- ・ 既製杭の杭頭において定着筋をパイルキャップ内に定着する接合法(以下接合法 A)及び杭頭部をパイルキャップに埋め込む接合法(以下接合法 B)とする。

(本文)

- (a) 単杭のパイルキャップへの埋込み部の地震力作用方向前面の限界値および設計用限界値設定

第1章 序論

のための低減係数は、下記による。

a) 接合法 A の場合

a-1) 安全限界せん断強度

$${}_uQ_{ph} = \mu \cdot N_s + {}_sQ_{h1}$$

記号

${}_uQ_{ph}$: 接合法 A におけるパイルキャップへの杭埋込み部前面のコンクリートの安全限界せん断強度(N)

μ : 杭天端の摩擦係数で、0.5 とする。

N_s : 杭天端に作用する安全限界設計時の軸方向力(N)で、引張りの場合 0 とする。

${}_sQ_{h1}$: パイルキャップへの杭埋込み部前面のコンクリートの短期許容せん断力(N)で、次式による。

$${}_sQ_{h1} = (2/3) \cdot {}_c\sigma_t \cdot A_{qc1}$$

${}_c\sigma_t$: パイルキャップのコンクリートの引張強度(N/mm²)で、次式による。

$${}_c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$$

F_c : パイルキャップのコンクリートの設計基準強度(N/mm²)

A_{qc1} : 水平力作用方向の杭前面のパイルキャップのコーン状破壊面の有効投影面積(mm²)で、次式による。

$$A_{qc1} = \frac{1}{2}\pi \left(c + \frac{D}{2} \right) \cdot c + 2c \cdot h$$

c : 杭表面とパイルキャップ側面までの距離(mm)

D : 杭外径(mm)

h : 杭のパイルキャップへの埋込み長さ(mm)

a-2) 設計用限界値設定のための低減係数は、損傷限界せん断力および安全限界せん断強度ともに 0.6 とする。

b) 接合法 B の場合

b-1) 安全限界曲げ強度

$${}_uM_{ph} = F_c \cdot \left(\frac{D \cdot h^2 \cdot L}{6L + 4h} \right)$$

記号

${}_uM_{ph}$: 接合法 B におけるパイルキャップへの杭埋込み部前・後面のコンクリートの支圧による安全限界曲げ強度(N・mm)

F_c : パイルキャップのコンクリートの設計基準強度(N/mm²)

D : 杭外径(mm)

h : 杭のパイルキャップへの埋込み長さ(mm)

L : 杭頭の曲げモーメント M とせん断力 Q の比(M/Q)

b-2) 安全限界せん断強度

$${}_uQ_{ph} = {}_c\sigma_s \cdot A_s$$

記号

${}_uQ_{ph}$: 接合法 B におけるパイルキャップへの杭埋込み部の安全限界せん断強度(N)

${}_c\sigma_s$: パイルキャップのコンクリートの直線せん断強度(N/mm²)で、次式による。

$$c\sigma_s = 0.335\sqrt{F_c}$$

A_s : 水平力作用方向の杭前面のパイルキャップのせん断破壊面の水平投影面積(mm²)で、次式による。

$$A_s = c \cdot (c + D) \quad \text{ただし、} c/D \leq 1.0$$

c) 設計用限界値設定のための低減係数は、安全限界曲げ強度については 1.0, 安全限界せん断強度については 0.7 とする。

(b) 2本の杭で支持される場合(以下、2本杭という)および4本の杭で支持される場合(以下、4本杭という)のパイルキャップの限界値および設計用限界値設定のための低減係数は、下記による。

なお、3本杭や5本杭以上の場合、本号に準じて限界値を算定するとともに、設計用限界値設定のための低減係数を適切に設定する。

a) 安全限界曲げ強度

2本杭のパイルキャップの安全限界曲げ強度は、下式による。なお、4本杭の場合は各方向の安全限界曲げ強度を算定する。また、検討断面は柱フェイス位置として図 1.2.2-4 による。2本杭の検討断面は、図 1.2.2-4 に示す検討断面①と②で設計用曲げモーメントがいずれか大きい方とし、4本杭の検討断面は、x 方向に対しては検討断面①と②で、y 方向に対しては検討断面③と④で設計用曲げモーメントがいずれか大きい方とする。

$${}_uM_{cp} = 0.9 \cdot \beta_b \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d$$

記号

${}_uM_{cp}$: パイルキャップの安全限界曲げ強度(N・mm)

β_b : パイルキャップの形状による低減係数で、次式による。

$d/l_p < 2.0$ の場合 : $\beta_b = 1.0$

$2.0 \leq d / l_p$ の場合 : $\beta_b = -0.12d/l_p + 1.24$ ($\beta_b \leq l_p/a$ の場合は $\beta_b = l_p/a$)

d : 基礎梁の有効せい(mm)

l_p : 柱フェイスから杭心までの距離(mm)

a : 柱中心から杭心までの距離(mm)

a_t : パイルキャップの引張鉄筋断面積(mm²)

σ_y : 引張鉄筋の規格降伏点(N/mm²)

d : パイルキャップの有効せい(mm)

b) 設計用安全限界曲げ強度算定用の低減係数は、1.0 以下とする。

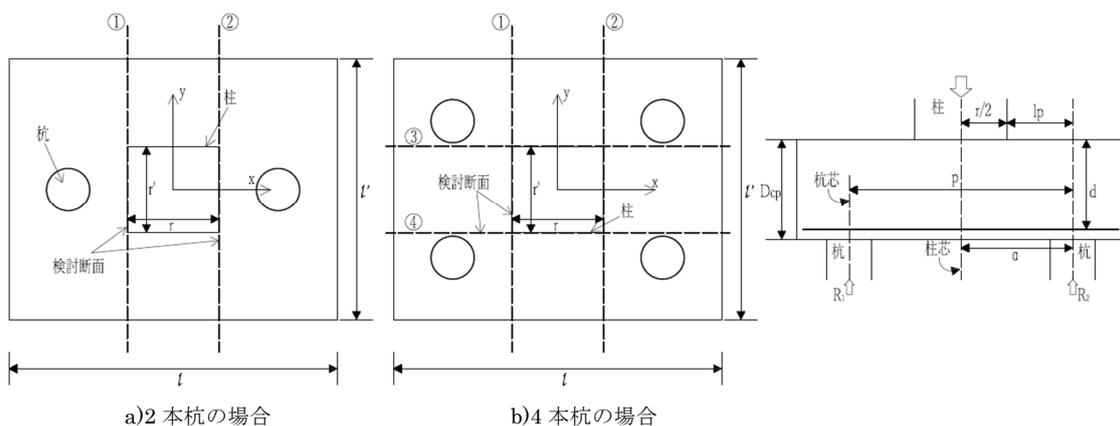


図 1.2.2-4 検討断面^[1-5]

図 1.2.2-5 記号 p, a, d, l_p, D_{cp} ^[1-5]

c) 安全限界せん断強度

群杭のパイルキャップの安全限界せん断強度は、下式による。なお、検討断面は、限界曲げモーメントと同様に柱フェイス位置とし図 1.2.2-4 による。

$${}_uQ_{cp} = l_e \cdot j \cdot \tau_u \text{ または } l'_e \cdot j \cdot \tau_u$$

記号

${}_uQ_{cp}$: パイルキャップの安全限界せん断強度(N)

l_e, l'_e : パイルキャップのせん断有効幅(mm)で、次式による。

$$l_e = \min(l, 3r, r + 2D_{cp}), l'_e = \min(l', 3r', r' + 2D_{cp}),$$

l, l' : 杭心を結ぶ直線と直行する方向のパイルキャップの幅(mm)

r, r' : 柱幅, 柱せい(mm)

D_{cp} : パイルキャップせい(mm)

τ_u : パイルキャップのコンクリートのせん断強度(N/mm²)で、次式による。

$$\tau_u = \frac{0.053p_t^{0.23}(F_c + 18)}{l_p/d + 0.12}$$

(ただし、 l_p/d は $l_p/d < 1$ のとき1とし、 $l_p/d > 3$ のとき3とする)

p_t : 引張鉄筋比(%)

d : パイルキャップの有効せい(mm)

l_p : 柱フェイスから杭心までの距離(mm)

F_c : パイルキャップのコンクリートの設計基準強度(N/mm²)

d) 設計用安全限界せん断強度算定用の低減係数は、1.0以下とする。

e) 安全限界パンチングシヤー強度

e-1) 柱周囲の安全限界パンチングシヤー強度

群杭のパイルキャップにおける柱周囲の安全限界パンチングシヤー強度は、次式による。

$${}_uV_{cp1} = \alpha \cdot b_{co} \cdot j \cdot \tau_u$$

記号

${}_uV_{cp1}$: 群杭のパイルキャップにおける柱周囲の安全限界パンチングシヤー強度(N)

α : 1.5

b_{co} : 柱周囲のパンチングシヤーに対する算定断面の延べ長さ(mm)で、次式による。

$$d \leq c \text{ の場合 : } b_{co} = 2(r + r') + \pi d$$

$$d > c \text{ の場合 : } b_{co} = 2(r + r') + \pi(d + c)/2$$

r, r' : 柱幅, 柱せい(mm)

d : パイルキャップの有効せい(mm)

c : 杭表面からパイルキャップ側面までの距離(mm)

j : パイルキャップの応力中心距離(mm)で、 $(7/8)d$ としてよい。

τ_u : パイルキャップのコンクリートの直接せん断強度(N/mm²)で、次式による。

$$\tau_u = 0.335\sqrt{F_c}$$

F_c : パイルキャップのコンクリートの設計基準強度(N/mm²)

e-2) 杭周囲の安全限界パンチングシヤー強度

群杭のパイルキャップにおける杭周囲の安全限界パンチングシヤー強度は下式による。

$${}_uV_{cp2} = \alpha \cdot b_{po} \cdot d_p \cdot \tau_u$$

記号

${}_uV_{cp2}$: 群杭のパイルキャップにおける杭周囲の安全限界パンチングシヤ－強度(N)

α : 1.0

b_{po} : 群杭のパイルキャップにおける杭周囲のパンチングシヤ－算定断面の延べ長さでパンチングシヤ－算定用のせい d_p とパイルキャップ端から杭表面までの距離(c, c')の関係により適切に算定する。なお、4本杭の場合の b_{po} は b_{p1} と b_{p2} のいずれか小さい方の数値とする。

d_p : 2本杭または4本杭のパイルキャップのパンチングシヤ－算定用のせい(mm)で、杭天端からパイルキャップ天端までの鉛直距離

τ_u : 上記による。

f) 群杭のパイルキャップにおける柱周囲の設計用安全限界パンチングシヤ－強度算定用の低減係数は、1.0以下とする。また、群杭のパイルキャップにおける杭周囲に対しては設計用安全限界パンチングシヤ－強度算定用の低減係数は、0.9以下とする。

g) パイルキャップへの杭埋込み部の安全限界せん断強度

群杭のパイルキャップにおいて、パイルキャップへの杭埋込み部の安全限界せん断強度は、単杭の場合と同じとし、接合法に応じた算定するものとする。

h) パイルキャップへの杭埋込み部の安全限界曲げ強度

群杭のパイルキャップにおいて、接合法 B を用いた場合のパイルキャップへの杭埋込み部の安全限界曲げ強度は、単杭の場合と同じとする。

(群杭のパイルキャップにおける構造規定)

- ・パイルキャップの各方向の全幅について、引張鉄筋断面積のコンクリート断面積に対する割合は0.2%以上とし、せん断有効幅内に配筋される引張鉄筋の断面積は $0.004l_e \cdot d$ (l_e :パイルキャップのせん断有効幅、 d :パイルキャップの有効せい)以上とする。
- ・せん断補強筋は、せん断有効幅に関して0.2%以上とし、その他の部分に対しては0.15%以上とする。

6) 6章杭の諸強度と変形特性の設定について

以下の節より構成され、基礎構造部材の損傷限界状態及び安全限界状態における限界値算定式と低減係数が示されている。

6.1 基本事項

6.2 杭体のモデル化

6.3 杭周辺地盤のモデル化

「6.2」では場所打ち鉄筋コンクリート杭、場所打ち鋼管コンクリート杭、既製コンクリート杭の変形特性について記述されている。

(場所打ち鉄筋コンクリート杭)

変形特性として、杭体の軸方向変形、せん断変形、曲げ変形に関する記述がされ、軸方向力～軸変形関係は線形とし、平均軸方向応力度 σ_0 の範囲は、 $-0.05\varepsilon \cdot F_c \leq \sigma_0 \leq (1/3)\varepsilon \cdot F_c$ としている。

第1章 序論

(場所打ち鋼管コンクリート杭)

変形特性として、杭体の軸方向変形、せん断変形、曲げ変形、杭頭接合部における鉄筋抜け出しによる変形特性のモデル化、及び鋼管・定着鉄筋・コンクリートの材料序数に関する記述がされている。軸方向力～軸変形関係はバイリニアにモデル化し、鋼管及び杭主筋の引張強度により杭体の引張強度が決定されることが記述されている。また、杭頭接合部ではパイルキャップからの定着鉄筋の抜け出しを考慮した曲げモーメント～曲げ変形特性を設定し、 $M-\theta$ 関係としてバイリニアにモデル化するよう記述がある。

(既製コンクリート杭)

PHC 杭、PRC 杭を適用範囲としている。PHC 杭では変形特性として、杭体の軸方向変形、せん断変形、曲げ変形に関する記述がされ、軸方向力～軸変形関係は線形とし、平均軸方向応力度 σ_0 は、 $0 \leq \sigma_0 \leq 30 \text{ N/mm}^2$ としている。

PRC 杭でも同様に杭体の軸方向変形、せん断変形、曲げ変形に関する記述がされ、軸方向力～軸変形関係は線形とし、平均軸方向応力度 σ_0 は、 $0 \leq \sigma_0 \leq 25 \text{ N/mm}^2$ としている。

(3) 建築基礎構造設計指針^[1-6]

1) はじめに

「建築基礎構造設計指針」は 2001 年に改定（第 2 版）され、その後 2011 年から建築基礎構造設計指針改定小委員会よって最新の知見とニーズを反映させた第 3 版改定作業が開始され、2019 年 11 月に発刊された。改定の主要点のうち、杭の設計に関連する内容は以下の通りである。

- 基礎構造に対してレベル 2 荷重時の設計を行うことを基本方針とした。
- 4 章の「地震荷重」と「地盤変位による荷重」、5～9 章の地震荷重に対する設計関係を大幅に改定した。
- 常時からレベル 2 荷重時に対する安全性検証の方法や設計用限界値を明確にするとともに、耐震性能グレード (S, A) を設定した。
- 杭の断面設計などは「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針 (案)・同解説」を参照することとして省略した。
- 鋼管杭の変形性能に関する最新の知見を暫定的に付録に盛り込んだ。

本項では、改定された 2019 年版を新指針、2001 年版を旧指針と称し、杭基礎の耐震設計手法に関する主要な改定点を抽出して本文中にアンダーラインで示す。

2) 関連する節の抽出

新指針の章構成は旧指針を踏襲しているが、2～4 章の順番を入れ替えるとともに、旧指針「7 章 併用基礎」は、「7 章 パイルド・ラフト基礎」と「8 章 異種基礎」に分割され、全 10 章となった。さらに、それに付録と計算例が加わっている。

改定のうち、レベル 2 荷重時の設計に直接関連する 4 章の地震荷重と地盤変位による荷重、並びに 5～9 章の地震荷重に対する設計に関係する節については大幅な改定となっている。一方、杭体の断面設計や基礎スラブ及び杭頭接合部については、日本建築学会「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震

設計指針（案）・同解説」と重複することから省略された。また、いずれの指針にも記載のなかった鋼管杭の変形性能に関する最新の知見について、暫定的との位置づけで付録に盛り込まれた。

各章の節のうち、杭の耐震設計に関する節を抽出した（表 1.2.2-7 にアンダーラインで示す）。これらについて改定点を整理する。

表 1.2.2-7 「建築基礎構造設計指針（2019 改訂版）」目次と杭関係改訂点の抽出

第1章 序論	第6章 杭基礎
1.1節 指針の基本方針	<u>6.1節 基本事項</u>
1.2節 指針の位置付け	<u>6.2節 鉛直支持力</u>
1.3節 用語	<u>6.3節 沈下</u>
1.4節 記号	6.4節 負の摩擦力
第2章 基礎構造の計画	<u>6.5節 引抜き抵抗力和引抜き量</u>
2.1節 設計方針と手順	<u>6.6節 水平抵抗および基礎部材の設計</u>
2.2節 想定する荷重	第7章 パイルド・ラフト基礎
2.3節 限界状態	7.1節 基本事項
<u>2.4節 要求性能</u>	7.2節 鉛直支持力
2.5節 要求性能の確認方法	7.3節 沈下
2.6節 地盤調査	7.4節 水平抵抗
2.7節 地盤定数	第8章 異種基礎
2.8節 支持地盤および基礎形式の選定	8.1節 基本事項
第3章 敷地地盤の安全性	8.2節 鉛直支持力と沈下
3.1節 地盤沈下	8.3節 水平抵抗
3.2節 地盤の液化化	第9章 地下外壁と擁壁
3.3節 傾斜地盤	9.1節 地下外壁
3.4節 土壌汚染	9.2節 擁壁
3.5節 地盤改良	第10章 施工管理
第4章 荷重	10.1節 基本事項
4.1節 荷重の種類と組合せ	10.2節 施工計画
4.2節 水圧	10.3節 施工品質管理
<u>4.3節 土圧</u>	10.4節 施工記録
<u>4.4節 地震荷重</u>	
<u>4.5節 地盤の水平変位による荷重</u>	<u>付録1. 鋼管杭の保有性能</u>
第5章 直接基礎	計算例
5.1節 基本事項	
5.2節 鉛直支持力	
5.3節 沈下	
5.4節 水平抵抗	
5.5節 地盤改良	
5.6節 基礎部材の設計	

3) 改訂点の概要

前ページで抽出した節について、改定点の概要を節ごとに整理する。

(a) 2章 基礎構造の計画 / 2.4節 要求性能

地震荷重を含む短期間に作用する荷重は、レベル1、レベル2の2段階とし、レベル1に対しては基礎構造が損傷限界状態を超えず、上部構造の補修・補強が必要にならないことを要求性能とした。またレベル2に対しては、性能グレードごとに要求性能を設定するものとした。表1.2.2-8に要求性能表を示す。なお、レベル2荷重は3段階のグレードを設定しているが、グレードCは具体的な性能確認方法が確立されていないとしている。また、性能グレードAとCの間に基礎構造の修復性を考慮した損傷の許容範囲を変えた性能グレードBを検討したが、現在の技術レベルでは対応が難しいとの判断から本指針では設定を見送っている。

表 1.2.2-8 想定荷重に対する要求性能

想定荷重	性能グレード	要求性能のレベル(限界状態)	要求性能		
			上部構造	基礎部材	地盤
レベル1	Ⅱ	損傷限界状態	過大な傾斜あるいは構造上の補修・補強を必要とするような損傷が生じない。	構造上の補修・補強を必要とするような損傷が生じない。	過大な沈下・残留変形が生じない。
	S				
レベル2	A	終局限界状態	転倒・崩壊しない。	脆性的な破壊を生じない。また、変形性能の限界に達して、耐力低下を生じない。	地盤(改良地盤)が鉛直支持力を喪失しない。
	C	上部構造の安全限界状態	転倒・崩壊しない。	部分的な損傷を許容する。	地盤(改良地盤)が鉛直支持力を喪失しない。

(b) 4章 荷重 / 4.3節 土圧

【地震時において基礎根入れ部に作用する土圧】

地震時の杭頭水平力を評価する際に用いる土圧は基礎または地下階における受働面の土圧合力増分とし、その考え方と算定法が記載された。杭頭水平力は、以下の例示のように基礎根入れ部に作用する土圧の影響を受ける。

- 上部構造の固有周期が地盤の卓越周期より短い場合、杭頭水平力は基礎根入れ部の土圧合力によって減少する。
- 上部構造の固有周期が地盤の卓越周期より長い場合、上部構造の慣性力は基礎部変位と逆方向となるケースもあると考えられる。
- 液状化地盤等では、地盤変位が基礎部変位より大きくなることもあり、地盤が基礎根入れ部を押し側の土圧が大きく、地盤が基礎から遠ざかる側の土圧が小さくなる。

基礎根入れ部の土圧合力による杭頭水平力の大小は、基礎部変位と地盤変位の大小関係等の影響を受ける。これらは6.6節の杭応力評価モデルにおいて、基礎根入れ部と地盤の間に土圧合力ばねを組み込むことにより直接評価することができる。土圧合力の評価、算定法については、本指針本文による。なお、土圧合力の算定において、受働土圧に至る相対変位として根入れ深さの5%を推奨している。

(c) 4章 荷重 / 4.4節 地震荷重

- 本指針で推奨する杭基礎の地震時応力評価法（応答変位法）では，上部構造の地下部分と周辺地盤との相互作用を考慮した側面地盤ばね（土圧合力ばね）を用い，地震時土圧を考慮する。
- 入力低減効果については，地震荷重を工学的基盤で設定する場合（限界耐力計算）は考慮できるものとし，地震荷重を地表面で設定する場合（保有水平耐力計算等）は考慮しないものとする。
- 動的相互作用の影響が大きいと考えられる場合（基礎に作用する地震荷重を動的解析に基づき評価する場合）には，時刻歴地震応答解析に基づく方法によって評価することを推奨する。
- 上部構造により高いクライテリア（必要保有水平耐力を上回る保有水平耐力等）が設定されている場合，基礎構造にも，より高い耐震性能を持たせることが望ましい。この場合，レベル2地震荷重に相応する上部構造の地上部分の慣性力を，必要保有水平耐力ではなく保有水平耐力により定めることを推奨する。

(d) 4章 荷重 / 4.5節 地盤の水平変位による荷重

杭の設計に用いる地盤の水平変位による荷重は本節による。地盤の水平変位の算定方法は，液状化の可能性の有無により異なる。

【地盤が液状化しない場合】

表 1.2.2-9 に地盤が液状化しない場合の水平変位の算定法を示す。a1 は地表面で設定された加速度応答スペクトル（保有水平耐力計算等）に対して応答スペクトル法によるもの，a2 は工学的基盤で設定された加速度応答スペクトル（限界耐力計算）に対して応答スペクトル法によるものであり，本指針ではこれらを推奨している。a3 は SHAKE 等を用いるもの，a4 は時刻歴応答解析を行うものである。

表 1.2.2-9 液状化しない地盤における水平変位の算定法

算定法	地震動の設定位置	地震動の形態	解析手法	応答値
a1	地表面	加速度応答スペクトル	応答スペクトル法	最大地盤変位
a2	工学的基盤	加速度応答スペクトル	応答スペクトル法	最大地盤変位
a3	工学的基盤	加速度時刻歴波形	等価線形解析	時刻歴波形
a4	工学的基盤	加速度時刻歴波形	逐次非線形解析	時刻歴波形

【地盤が液状化する場合】

表 1.2.2-10 に地盤が液状化する場合の水平変位の算定法を示す。b1, b2 は，a1, a2 で求めた地盤の水平変位に液状化層の動的水平変位を加算するものである。本指針では，液状化する可能性がある地盤の水平変位の算定法として，この b1, b2 の方法を推奨している。

表 1.2.2-10 液状化する地盤における水平変位の算定法

算定法	地震動の設定位置	地震動の形態	解析手法	応答値
b1	地表面	加速度応答スペクトル	応答スペクトル法 +液状化判定	最大地盤変位 (液状化しない場合の地盤変位 +液状化層の動的水平変位 D_{ex} を求める過程で得られる各層 の水平変位)
b2	工学的基盤	加速度応答スペクトル	応答スペクトル法 +液状化判定	
b3	工学的基盤	加速度時刻歴波形	等価線形解析 (解析結果の利用)	時刻歴波形
b4	工学的基盤	加速度時刻歴波形	有効応力解析	時刻歴波形

(e) 6章 杭基礎 / 6.1節 基本事項

a) 要求性能

【杭基礎の設計フロー】

杭基礎の設計フローを図 1.2.2-6 に示す。設計の基本的な流れは、荷重の設定→杭種等の決定→鉛直荷重に対する設計→地震荷重（レベル1，レベル2）に対する設計となる。

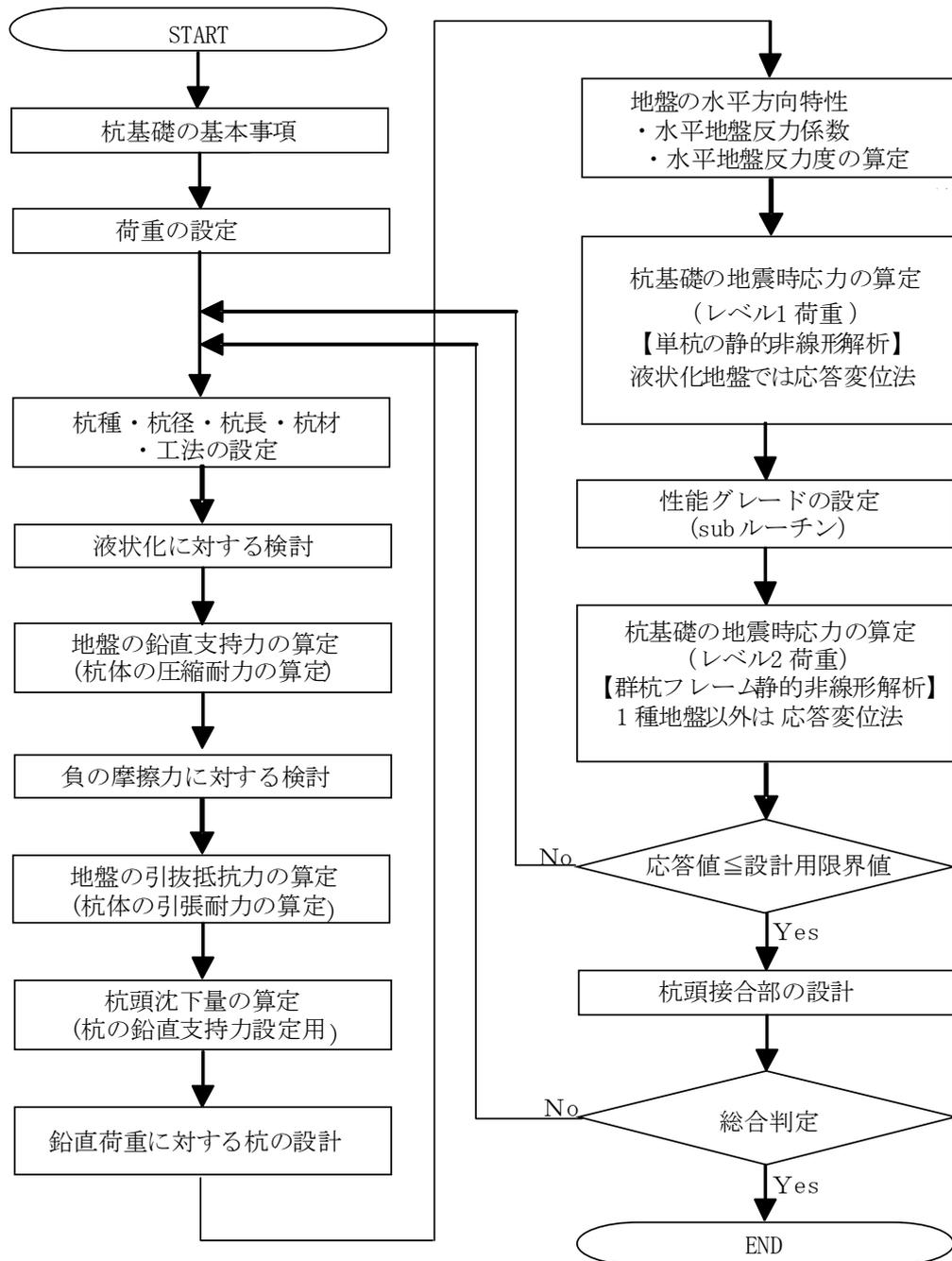


図 1.2.2-6 杭基礎の設計フロー^[1-6]

【杭基礎の限界状態と要求性能】

本指針では、杭基礎の想定荷重、限界状態および要求性能が整理された。各限界状態には、基礎部材や地盤に対する限界状態と上部構造に対する限界状態があるが、ここでは、地盤に対する限界状態は強固な支持層を選択することで満足されると考え、表 1.2.2-11 に上部構造と基礎部材について整理した。なお、基礎部材とは杭体（継手部を含む）、基礎梁、耐圧版、パイルキャップならびに杭頭接合部のことをいう。

表 1.2.2-11 限界状態と要求性能

想定荷重	性能グレード	要求性能のレベル (限界状態)	要求性能の確認方法	
			上部構造に対する影響	基礎部材
常時荷重	—	使用限界状態	基礎の変形角・傾斜角による、上部構造の使用限界状態以下	いずれの基礎部材の応力もひび割れ耐力以下または想定されるひび割れ幅に対応した応力以下、または使用限界強度以下
レベル1荷重	—	損傷限界状態	基礎の変形角・傾斜角による、上部構造の損傷限界状態以下	いずれの基礎部材の応力も降伏応力以下、または損傷限界強度以下
レベル2荷重	S			
レベル2荷重	A	終局限界状態	基礎の変形角・傾斜角による、上部構造の終局限界状態以下 転倒しない	いずれの基礎部材の応力も終局限界強度以下、または限界変形以下

b) 検討項目および要求性能の確認方法

【要求性能と検討項目】

杭基礎の要求性能を確認する際に必要となる代表的な検討項目を表 1.2.2-12 に示す。なお、性能グレード A に対しても変位の検討を行うことが望ましいが、精度の高い評価が難しいため、基礎部材の応力・変形を主要な検討項目として扱うこととする。

表 1.2.2-12 要求性能レベルに対応する検討項目

想定荷重	性能グレード	要求性能のレベル (限界状態)	検討項目		
			上部構造に対する影響	基礎部材	杭、地盤
常時荷重	—	使用限界状態	基礎の変形角、傾斜角	各部材の応力またはひび割れ幅	鉛直支持力、沈下量 引抜き抵抗力、(引抜き量) ※
レベル1荷重	—	損傷限界状態	基礎の変形角、傾斜角	各部材の応力	鉛直支持力、沈下量 引抜き抵抗力、(引抜き量) ※
レベル2荷重	S				液状化、(地盤沈下量) ※
レベル2荷重	A	終局限界状態	(基礎の変形角、傾斜角) ※	各部材の応力 または塑性変形量	鉛直支持力、(沈下量)※ 引抜き抵抗力、(引抜き量) ※ 液状化、(地盤沈下量)※

※ () 内の項目については必要に応じて検討する。

第1章 序論

【要求性能の確認方法と設計用限界値】

表 1.2.2-13 に単杭の設計用限界値を示す。杭基礎は多数の単杭の集合体であり、単杭の設計用限界値が杭基礎全体の設計用限界値の基本となる。それぞれの設計用限界値の考え方は本指針本文による。

表 1.2.2-13 単杭の設計用限界値

要求性能レベル (目標性能)	設計用限界値		
	杭 体	地 盤	
		鉛直支持力	引抜き抵抗力
使用限界状態	使用限界強度 ひび割れ耐力または想定されるひび割れ幅に対応した応力	極限支持力の 1/3	最大引抜き抵抗力の 1/3
損傷限界状態	損傷限界強度	極限支持力の 1/1.5	降伏引抜き抵抗力
終局限界状態	終局限界強度または限界変形	極限支持力	残留引抜き抵抗力

(f) 6章 杭基礎 / 6.2節 鉛直支持力

地盤から定まる単杭の鉛直支持力を、鉛直載荷試験または支持力算定式のいずれかによって求めることは旧指針と同様であり、近年の施工試験データを加味した場所打ちコンクリート杭、埋込み杭、回転貫入杭および打込み杭の支持力の算定方法が示されている。算定式では先端支持力係数が部分的に見直されている。表 1.2.2-14 に本指針の杭種ごとの係数と改訂箇所を示す。先端支持力は、基本的には超過確率が 50%以上になるよう統計値を切りのよい値とし、周面抵抗は、基本的には超過確率が 75%程度以上になるような値としている。

表 1.2.2-14 杭種ごとの先端支持力度および周面抵抗度の算定

杭 種	極限先端支持力度 q_p (kN/m ²)			極限周面抵抗力度 τ (kN/m ²)			
	砂質土	粘性土	上限	砂質土 τ_s	τ_s 上限	粘性土 τ_c	τ_c 上限
場所打ちコンクリート杭	$120\bar{N}$	$6c_u$	7500	$3.3N_s$	165	c_u	100
埋込み杭(プレボーリング)	$150\bar{N}$	$150\bar{N}$	9000	$2.5N_s$	125	c_u	125
埋込み杭(中掘り)		$6c_u$		$1.5N_s$	75	$0.4c_u$	50
回転貫入杭	$150\eta\bar{N}$	$150\eta\bar{N}$	9000η	$2.0N_s$	100	$0.5c_u$	62.5
打込み杭	$300\eta\bar{N}$ ($0.7q_c$)*	$6c_u$ ($0.7q_c$) *	18000	$2.0N_s$	100	$0.8c_u$	100

また本指針では、支持層厚が薄い場合（薄層支持）の先端支持力の計算方法が追加された。近年、薄層支持杭の実験的・解析的研究の成果が一定以上蓄積されたことを踏まえ、このような地盤における単杭の極限先端支持力度 q_p (kN/m²) について、本節に示された評価法を推奨することとしている。これは、支持層で決まる q_{p1} (kN/m²) に加え、下層で決まる q_{p2} (kN/m²) も求め、いずれか小さい方を採用するものである。

(g) 6章 杭基礎 / 6.3節 沈下

a) 単杭の沈下

単杭の即時沈下量は、下記のいずれかによって評価する。

- ① 鉛直載荷試験による荷重-沈下量関係
- ② 荷重伝達解析による荷重-沈下量関係
- ③ 杭頭のばね定数

荷重伝達解析による荷重-沈下量関係の評価式について、旧指針では、場所打ちコンクリート杭では1.3.3.-1式の $\alpha=0.3$ 、 $n=2$ とし、打込み杭についてもその係数を準用するなどとしていたが、本指針では、場所打ちコンクリート杭、埋込み杭、回転貫入杭について、土質ごとの α 、 n を提示している。

- 場所打ちコンクリート杭
 - 砂質土： $\alpha=0.23$ ， $n=2.7$
 - 礫質土： $\alpha=0.12$ ， $n=3.3$
- 埋込み杭
 - 砂質土： $\alpha=0.28$ ， $n=3.9$ （既製コンクリート杭）
 - $\alpha=0.15$ ， $n=5.9$ （鋼管杭）
 - 礫質土： $\alpha=0.10$ ， $n=3.7$ （既製コンクリート杭）
 - $\alpha=0.14$ ， $n=3.9$ （鋼管杭）
 - 粘性土： $\alpha=0.15$ ， $n=4.5$ （既製コンクリート杭）
- 回転貫入杭
 - 砂質土： $\alpha=0.28$ ， $n=3.8$
 - 礫質土： $\alpha=0.31$ ， $n=4.1$
 - 粘性土： $\alpha=0.31$ ， $n=4.2$

また、③の方法は本指針で追加された。②の方法で得られる杭先端ばねと杭周面摩擦ばねを用いて、簡易的に杭頭のばね定数 K_p (kN/m) を算定することができ、これを杭の荷重-変位量関係における特性点（降伏支持力、設計支持力など）での割線勾配の評価に用いることができる。本指針では、等価ピアにモデル化した群杭のばね定数算定法〔7.3節、パイルド・ラフト基礎の沈下〕を準用し、杭体の圧縮剛性の考慮の有無により異なる方法が示されている。また、このほかに、杭頭のばね定数の評価方法として道路橋示方書の方法とJSCAの提案式が報告されていると記されている。

b) 群杭の沈下

1本の柱を1本の杭で支持する建物でも、建物全体でみた場合は杭間の相互作用（群杭効果）を無視できない場合が多く、支持力のみでなく沈下にも群杭効果を考える必要がある。沈下算定における群杭効果には、以下の2つがある。

- ① 杭間の相互作用により杭の周面抵抗力や先端支持力の発揮に要する相対変位量が増加する影響
- ② 地中応力の重ね合わせによって沈下に影響する地盤の範囲が単杭の場合よりも深部に及ぶことの影響

第1章 序論

深部地盤まで応力の重ね合わせを考慮することで厳密には②は①に含まれるが、①は概ね杭先端以浅において顕著であり、②は杭先端以深の地盤に対する効果といえる。実際の沈下は①と②の合成と考えられるが、各々の影響を分割して考慮するのは困難であり、採用した解析手法の特性からどちらかのみを考慮することが多い。本指針では、簡易法として、等価荷重面法、等価ピア法、詳細法としてハイブリッド法や有限要素法が挙げられている。詳細は本指針本文による。また、群杭の圧密沈下を検討する場合は、単杭として扱ってよいとしている。

(h) 6章 杭基礎 / 6.5節 引抜き抵抗力和引抜き量

本節は基本的に旧指針と同じであるが、引抜き抵抗力の算定式による評価において、近年の試験結果を考慮し、粘性土の最大周面抵抗力度が押し込み時の極限抵抗力度の 4/5（旧指針は低減なし）となった。砂質土は押し込み時の極限抵抗力度の 2/3 で変わっていない。

(i) 6章 杭基礎 / 6.6節 水平抵抗および基礎部材の設計

a) 検討項目および設計用限界値

【性能目標と設計用限界値】

地震力を受ける杭基礎は、レベル1荷重に対しては損傷限界状態以下、レベル2荷重に対しては、性能グレード(S, A)に応じた要求性能とする。

表 1.2.2-15 基礎部材（杭体および杭頭接合部）の設計用限界値

想定荷重	性能グレード	要求性能レベル (限界状態)	設計用限界値
レベル1 荷重	—	損傷限界状態	損傷限界強度（鋼材の降伏，コンクリートのせん断ひび割れや残留ひずみの発生に対して余裕のある強度）
レベル2 荷重	S		
		A	終局限界状態

杭基礎の鉛直支持能力と水平抵抗にかかわる設計用限界値については，それぞれ鉛直支持力〔6.2節〕，引抜き抵抗力〔6.5節〕，杭の水平抵抗〔本節〕，および杭体および杭頭接合部の断面算定〔本節5.〕を参照する。また，沈下と水平変位にともなう傾斜，上部構造に対する影響にかかわる設計用限界値については，文献などによる提案値，震災建物の被災度判定の傾斜角等〔5.3節4.〕を参考にし，建物の要求性能や構造形式を勘案して設計者が設定することとしている。

【杭の種類と設計用限界値について】

本指針では，性能グレードに対する杭材と設計用限界値の関係が示された。

a) 性能グレードSに対する杭材の設計用限界値

杭材の種類に関わらず，設計用限界値は損傷限界強度とする。

b) 性能グレードAに対する杭材の設計用限界値

- 場所打ち鉄筋コンクリート杭は，軸方向力・せん断余裕度の大きさによっては十分な変形性能が期待できないことから，その設計用限界値は終局限界強度とする。ただし，例外として軸力の小さい杭で，曲げ降伏を許容する場合には，設計用限界値は限界変形（限界曲率あるいは限界塑性回転角等，以下同様）とする。この際，十分なせん断余裕度を確保する。
- 場所打ち鋼管コンクリート杭の設計用限界値も終局限界強度とする。ただし，例外として軸力の小さい杭で，曲げ降伏を許容する場合には，限界変形とするが，鋼管の局部座屈が発生しない範囲内とする。
- PHC杭，PRC杭は，最大耐力発揮後急激な耐力低下を起こすことが多いため，その設計用限界値は終局限界強度とし，曲げ降伏させてはならない。
- SC杭においても，鋼管の圧縮降伏およびコンクリートの圧壊が鋼管の引張降伏よりも先行する場合には，急激な耐力低下を起こすことが多い。この場合には設計用限界値は終局限界強度とし，曲げ降伏させてはならない。軸方向力が小さく鋼管の引張降伏が支配的な場合には，例外として曲げ降伏を許容してもよい。

第1章 序論

- 鋼管杭の設計用限界値は、終局限界強度とする。ただし、曲げ降伏を許容する場合は、軸方向力を考慮した限界変形とする。

なお、PHC杭、PRC杭、SC杭について、中詰めコンクリートの施工やせん断補強筋量の増大等により耐震性能を高めた場合には、実験的検証をもとに設計用限界値を設定してよい。

b) 杭基礎の応答評価法

【常時水平荷重に対する杭基礎の応力評価法】

偏土圧を受ける場合など、常時に杭に水平力が作用する場合の検討方法は、基本的にレベル1荷重に対するものと同様である。

【レベル1荷重に対する杭基礎の応力評価法】

レベル1荷重における杭の応力評価は、各杭の変形性能の違いによる影響や杭頭変位の同一性を考慮できる群杭フレームモデルを用いるのが望ましい。しかしながら、杭体はほぼ弾性域であることや従来の杭応力評価法が単杭によるものを用いてきたことから、それらとの連続性を考慮し、単杭による杭応力評価を用いてもよいこととする。

杭体の変形性能はレベル1荷重作用時の軸力に対して評価する。地震時には地盤変位が作用するため地盤変位を考慮した梁ばねモデル（応答変位法、本指針本文の図 6.6.3）を用いることを原則とする。ただし、地盤変位が小さく杭応力に大きな影響を与えないと判断される場合は、地盤変位を無視した梁ばねモデル（本指針本文の図 6.6.2）による検討を行うことも可能である。各モデルを用いた評価法の詳細は、本指針本文を参照のこと。

杭応力の組み合わせは、従来、地盤変位と構造物慣性力を個別に杭に作用させて杭応力を算定し、それらの二乗和平方根（SRSS）または単純和で重ね合わせる手法が広く用いられてきた。しかしながら、レベル2地震のように非線形が強いケースでは、杭応力の重ね合わせは成立しないため、地盤変位と構造物慣性力を同時に杭に作用させることが合理的と考えられる。

地盤変位、上部構造慣性力、基礎部慣性力の低減係数と載荷方向は、建物の固有周期（ T_b ）と地盤の卓越周期（ T_g ）の比（ T_b/T_g ）に依存する傾向がある。本指針では低減係数を表 1.2.2-16 とする。

表 1.2.2-16 建物の固有周期 T_b と地盤の固有周期 T_g の比と低減係数

	低減係数	上部構造慣性力と地盤変位の位相 (基礎部慣性力は地盤変位と同方向)
$T_b/T_g < 1$	$\alpha_1 = \beta_1 = \beta_2 = 1$	上部構造慣性力と地盤変位は同方向で杭に載荷
$T_b/T_g \doteq 1$	地盤変位が卓越 $\alpha_1 = \beta_2 = 1, 0.5 < \beta_1 < 1$	上部構造慣性力と地盤変位は同方向および逆方向で杭に載荷し、各深度で杭応力の大きい方を採用
	上部構造慣性力が卓越 $\beta_1 = 1, 0.5 < \alpha_1 = \beta_2 < 1$	
$T_b/T_g > 1$	地盤変位が卓越 $\alpha_1 = \beta_2 = 1, \beta_1 = 0.5$	上部構造慣性力と地盤変位は同方向および逆方向で杭に載荷し、各深度で杭応力の大きい方を採用
	上部構造慣性力が卓越	

$\beta_I=1, \quad \alpha_I=\beta_I=0.5$

【レベル2 荷重に対する杭基礎の応力評価法】

レベル2 地震時の杭応力評価は、杭体の非線形性のため杭の荷重分担が変化する可能性の高いことを考慮し、群杭フレームモデルを用いて慣性力と地盤変位を与える手法を標準とする。また、地震時地盤変位の考慮は原則として必要である。なお、群杭フレームモデルには、

- (a) 杭応力評価用として、杭先端をローラーとし地盤の水平ばねを考慮したモデル
 (b) 沈下、傾斜算定用として、杭先端抵抗ばねと杭周面摩擦ばねを考慮したモデル

の2つが示されており、上部構造の変動軸力が大きい場合は、(b) の計算も行って上部構造への影響を評価することとしている。但し、(a) のモデルに杭先端抵抗ばねを考慮すると杭応力を過少評価する可能性があるため、水平力に対しては杭先端はローラーとする。

評価法の詳細は、本指針本文を参照のこと。

c) 設計定数

【水平地盤反力係数】

本指針では、基準水平地盤反力係数 k_{h0} として、旧指針の評価法を推奨しているが、

- 算定式の α (m^{-1}) を土質によらず 80 とした。
- 変形係数 E_0 を PS 検層から地盤の算出する方法を採用し、 E_0 の算定式として下式を推奨している。

$$E_0 = E_{ps} / 30$$

また、群杭の影響を考慮する係数について、旧指針の群杭効率 e は杭間隔比のみに依存していたが、近年の実験的研究や解析的研究より群杭効率は杭本数にも依存することが分かってきたため、本指針では杭間隔比 R/B 、杭本数 N_p を考慮した群杭効率評価式とした。詳細は本指針本文による。

【塑性水平地盤反力度】

基本的には旧指針に準じているが、前方杭（地盤が反力として作用する場合の最前面の杭）は単杭と同じとし、後方杭では一定の割合 κ 、 μ 、 λ によって低減することなど、注意が必要である。

【水平地盤反力係数と塑性水平反力度に関する補足説明】

応答変位法において、現状の知見では異なる水平地盤反力係数等を用いる理由は見当たらないとして、応答変位法による杭応力評価に関しても本指針式の水平地盤反力係数と塑性水平地盤反力度に基づく地盤ばねを用いることを基本とすることが明記された。なお、本指針で提案した以外の方法について留意点を列挙し、適用性を確認したうえでの採用は妨げないこととしている。

d) 杭基礎の応力評価の留意事項

FEM 解析の特徴や留意事項が記されているので、必要に応じて参照する。

e) 杭体および杭頭接合部の断面算定

損傷限界状態および終局限界状態の限界値の算定式や低減係数は、日本建築学会の最新の解説書、

第1章 序論

たとえば「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針（案）・同解説（2017）」^[1-24]によるとされた。

(j) 付録 / 1. 鋼管杭の保有性能

本付録は、鋼管杭（コンクリート充填鋼管部含む）の杭体および杭頭接合部の設計用限界値（耐力と変形性能）の算定ならびに設計用限界値設定のための低減係数の設定に適用するとして、鋼管杭の変形性能に関する最新の知見を暫定的に盛り込んだものである。本試設計において、適宜参照することとする。以下に盛り込まれている項目を整理する。

a) 鋼管杭の材料と品質

- 鋼管杭の材料および品質
- 鋼管の材料強度
- 使用限界状態，損傷限界状態，終局限界状態
- 腐食しろ

b) 鋼管杭の保有性能

- 使用限界性能：使用限界軸耐力，使用限界曲げ耐力
- 損傷限界性能：損傷限界軸耐力，損傷限界曲げ耐力
- 終局限界性能：終局限界軸耐力，終局限界曲げ耐力，終局限界塑性変形能力

c) 杭頭接合部の保有性能

- 損傷限界曲げ耐力と終局限界曲げ耐力：パイルキャップ仮想直径に2案
 - 杭直径+200mm（「鉄筋コンクリート基礎部材の耐震設計指針（案）・同解説」）
 - 杭直径×1.25+100mm（近年の新たな実験結果を加えた考察）
- 終局限界塑性変形能力：「鉄筋コンクリート基礎部材の耐震設計指針（案）・同解説」による

d) 杭体の解析モデル

- 杭体
- 杭頭接合部

e) 構造規定

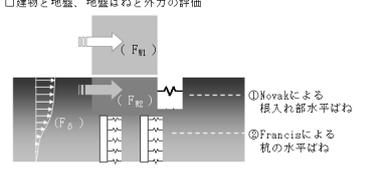
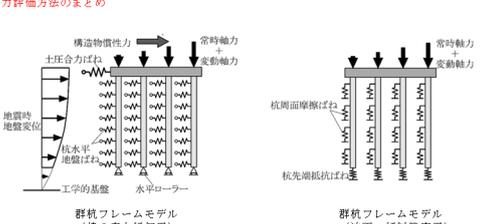
- 外径
- 板厚
- 杭体内に充填するコンクリート
- 杭体内に充填するコンクリートの設計基準強度
- 施工方法
- 現場接手
- 杭頭接合部

(4) まとめ

本項では、日本建築学会「建築基礎構造設計指針（2019）」^[1-6]（基礎指針と称す）に示される杭基礎の設計に関する新しい技術的知見をまとめた。この内容を「地震後継続使用性を確保した新築建築物の耐震設計・耐震性能評価報告書」で適用した耐震設計フロー（前試設計と称す）と対比させ、設計法の違いをまとめたものが後の表である。この表では、新しい技術的知見を用いた試設計（本試設計と称す）の耐震設計手法として採用するものを赤字で示している。また今後の研究テーマとなり得るものを青字で示した。

以下に耐震設計フローに従って各項（Ⅰ～Ⅴ）の本試設計方針を記す。但し、複数の選択肢がある算定法についてはどれを採用するか決定していないものもあり、その場合は併記（✓で箇条書き）するに留めて本試設計時に決定することとする。

表 1.2.2-17 建築基礎構造設計指針の技術的知見と地震後継続使用性を確保した設計フロー

地震後継続使用性を確保した杭基礎の耐震設計フロー		建築基礎構造設計指針 (2019)の技術的知見
I.基礎構造の要求性能の設定		
<p>目標ランクの設定</p> <p>□杭基礎の継続使用クライテリア</p> <p>ランクS: 部材の損傷を許さず、弾性状態にとどめる。 部材ランクI (部材は短期許容応力度以内) ランクA: 一部、修復限界状態内の部材を許容する。 部材ランクII (部材は終局強度以内、且つせん断余裕度の確保) ランクB: 一部、修復限界状態内の部材を許容する。 部材ランクIII (一部、わが状態を許容する。但し修復性確保のための以下の靱性規定値を満足することを条件とする) ・場所打ちコンクリート杭の場合: 大地震時の軸圧比制限 引張鉄筋比の制限 せん断余裕度の確保 ・鋼管杭の場合: 径厚比の制限 ・既設コンクリート杭の場合: 選択は不可</p>	<p>■レベル2震度に対する要求性能 (2.4節) 【グレードFS】 (修復限界状態) ・構造上の補修・補強を要しない (上部構造、基礎構造とも) 【グレードA】 (終局限界状態以下) ・倒壊・崩壊しない (上部構造) 靱性破壊・耐力低下を生じない (基礎構造) 【グレードB】 (修復性を考慮した損傷の範囲) ・技術対応が難しいとの判断から設定見送り 【グレードC】 (部分的な損傷を許容) ・性能確認方法が確立されていないため定義のみ提示 (具体的検証法の記述なし)</p> <p>■杭の種類と設計用限界値 (8.6節) 【グレードSに対する設計用限界値】 ・損傷限界強度とする 【グレードBに対する設計用限界値】 ・場所打ちRC杭: 終局強度。但し、軸力小で曲げ降伏許容の場合は限界変形 ・PBC杭、PCC杭: 終局強度とし曲げ降伏不可。 ・SC杭: 終局強度とし曲げ降伏不可。但し、鋼管引張降伏が支配的な場合は曲げ降伏許容 ・鋼管杭: 終局限界強度とする。但し、曲げ降伏を許容する場合は限界変形以下 ※PBC、PCC、SC杭については、実験的検証をもとに設計用限界値を設定してもよい</p> <p>■杭体および杭頭接合部の断面強度 (8.8節) 日本建築学会「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針 (案)・解説」等による</p>	
II.敷地・地盤条件の把握		
<p>設計に必要な地盤情報を入手</p> <p>□地盤調査および地盤情報 (設状化の可能性はないものとする)</p> <p>・杭の支持力: 地盤構成と支持層深さ、N値、1軸圧縮強度、他 ・地盤の剛性: PS検層結果等 (Vs値)</p>	<p>同左</p>	
III.大地震時の設計用地震力等の設定		
<p>極めて稀な地震に対し、地盤変位による荷重の設定等</p> <p>□地盤の応答解析による地盤の変位分布と等価剛性情報</p> <p>・SHAKEによる自由地盤の応答結果等による</p>	<p>■地震荷重 (4.4節) ・応答変位法では地震時土圧 (土圧合力はね) を考慮する ・動的相互作用が大きい場合は、時刻歴応答解析で評価することが望ましい (SR、Fenzien等)</p> <p>■地盤の水平変位による荷重 (設状化しない場合) (4.5節) いずれかを選択 ・a1, a2 応答スペクトル法 (推奨) →多質点等価せん断ばね系 →SHAKE等 ・a3 等価橋形解析 ・a4 逐次非線形解析</p>	
IV.耐震設計 (1次設計) により杭基礎を設定する		
<p>現行法規に従った1次設計</p> <p>□「地震力に対する建築物の基礎の設計指針 (1984)」による設計</p> <p>・継続使用クライテリアを考慮しての杭種選定 ・地盤剛性 ($E_p=700N/mm^2$ 等) を用いた耐震設計 (地盤剛性を低めに評価、地震力は慣性力のみ評価)</p>	<p>■レベル1震度に対する応力評価法 (8.6節) 【応力評価モデル】 ・群杭フレームモデルが望ましい ・単杭による応力評価も可とする (従来の設計法との連続性を考慮し) 【地盤変位の考慮】 ・地盤変位を考慮した応答変位法を原則とする ・地盤変位が小さい場合は、地盤変位を無視した検討も可能</p>	
V.大地震時に対して継続使用性を確保するための杭基礎の設計 (二次設計) を行う (1)		
<p>建物慣性力のみか地盤変位による地震荷重を考慮した二次設計</p> <p>□建物の慣性力 (F_w) と、地盤変位による力 (F_d) (F_w): 建物の必要保有水平耐力以上、且つ$\beta \leq 0.7$の係数として0.4以上 (F_w): 地下震度として、0.35以上 (F_d): 「III.大地震時の設計用地震力等の設定」による (F_w, a) と (F_d) は、同時・同方向に作用する外力とする。</p> <p>□地盤の剛性・ばねの評価 「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」 (日本建築学会) による ・地盤の剛性は、地盤の応答解析 (III) より求めた等価剛性とする ・基礎及び地下根入れ部、及び杭に対して水平地盤ばねを考慮する ・基礎及び地下根入れ部のばねは、Novakのばねとする ・単杭に対するばねは、Francisのばねとする ・Francisのばねに対して、群杭係数を考慮する ・場所打ちコンクリート杭に限り、曲げひび割れによる剛性低下を考慮する (ランクSの場合は、不可)</p>	<p>■地震荷重の設定 (4.4節) 上部構造 (地上部分) の慣性力 ・必要保有水平耐力、または保有水平耐力 (基礎より高い耐震性能を持たせる場合) 上部構造 (地下部分) の慣性力 ・最大加速度$4a/g \times 2$。但し、深さ方向の減衰は行わない</p> <p>■レベル2震度に対する応力評価法 (8.6節) 杭応力の算定 ・群杭フレームモデルを用いて慣性力と地盤変位を与える手法を標準とする ・杭の軸力変動が小さく、各杭の応力差が小さいと判断される場合は単杭モデルも可 杭応力の重ね合わせ ・上部構造慣性力と地震時地盤変位の同時性の問題から、低減係数を考慮する ・建物固有周期と地表面卓越周期の大小による入力位相差を考慮するもの 水平地盤反力係数 ・k_hは従来の式による ・地盤の変形係数は、対象地盤に適した方法で算定する 算定方法 →一孔内水平載荷試験、一輪または三輪圧縮試験、$E_p=700N/mm^2$ PS検層 群杭の影響を考慮する係数 ・杭間隔比と杭本数を考慮した群杭効率評価式 (旧指針は杭間隔のみ) 応答変位法における地盤ばね ・本指針に示した水平地盤反力係数と型水平地盤反力係数に基づく</p>	
V.大地震時に対して継続使用性を確保するための杭基礎の設計 (二次設計) を行う (2)		
<p>建物慣性力のみか地盤変位による地震荷重を考慮した二次設計</p> <p>□建物と地盤、地盤ばねと外力の評価</p>  <p>①Novakによる根入れ部水平ばね (k/m) : k $k = 7.89 \times D^2 \times V_s^2$ V_s: 根入れ部地盤のせん断波速度 (m/s) D: 基礎の根入れ深さ (m) $P = \mu m_0^2 \alpha U_0$</p> <p>②Francisによる杭の水平ばね (k/m) : k_p $k_p = \frac{1.3 E_s}{1 - \nu_s^2} \left(\frac{E_s B^4}{E_p r^4} \right)^{1/3}$ E_s: 地盤のヤング係数 ν_s: ポアソン比 B: 杭径 E_p: 杭のヤング係数 I_p: 杭の断面二次モーメント $\beta_{HM} = 0.4 \cdot (S/B)^3 \cdot (N_p/2)^{0.6} \cdot (N_p/2)^{0.4} \cdot (N_p/2)^{0.8} \cdot (N_p/2)^{0.8}$ β_{HM}: 水平地盤ばねの群杭係数 S: 杭間距離 N_x: X方向の杭本数 N_y: Y方向の杭本数</p> <p>□クライテリア・設定ランクに従った部材条件の確認</p>	<p>■応力評価方法のまとめ</p>  <p>群杭フレームモデル (杭の応力評価用) 群杭フレームモデル (沈下・傾斜算定用)</p> <p>杭応力の評価は群杭フレームモデル (杭の応力評価用) を標準とし、以下のフローによる。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 杭頭の回転拘束は十分であるとして杭頭回転ばねは考慮しない。基礎は剛とする。 ② 地盤条件および杭径と群杭効果を考慮して水平地盤ばねを設定する。液状化は考慮しない。 ③ 地下層がある場合は、土圧合力はねを設定する。 ④ レベル2地震時の構造物慣性力 (上部+地下) を設定する。 上部: 必要保有水平耐力を基本とし、より高い耐震性能を持たせる場合は保有水平耐力とする。 地下: 推奨値に基づき、$4a/g \times 2$ (レベル1は$1a/g \times 2$) とする。 ⑤ 各杭位置の地震時変動軸力も考慮する。 ⑥ 杭の変形性能は、「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針 (案)・解説」による。 ⑦ 地震時地盤変位を設定する。(応答スペクトル法またはSHAKE) ⑧ 杭頭水平力と地震時地盤変位を同時に作用させ、低減係数を考慮する。 <p>なお、上部構造の変動軸力が大きい場合は、杭先端抵抗ばねと杭周面摩擦ばねによる群杭フレームモデル (沈下・傾斜算定用、杭応力評価用とは別モデル) を用いて、杭の沈下による上部構造の影響を評価することも考えられる。</p>	
VI.建物要求性能 (ランクS、A、B) と、設計結果の確認		

(NG)

【Ⅰ 基礎構造の要求性能の設定】

■ 杭基礎の要求性能

前試設計では、建物の要求性能の目標ランクをS, A, Bとし、それぞれの目標ランクに対して、室の機能（地震後に必要とされる機能）や構造部位に応じた耐震性能の分類を定めている。基礎構造については、目標ランクと耐震性能が1対1対応するため、目標ランクに応じて耐震性能の分類が定まる。一方、基礎指針では、レベル2地震に対する要求性能はグレードS, A, Cの3段階とされたが、具体的検証法はグレードS, Aのみ示されている。

目標ランクS, A, Bが大地震後の継続使用を念頭に定められたものであることから、本試設計の要求性能はランクS, A, Bを継続して用いる。また、ランクSは基礎指針グレードSと同義、ランクA, Bは基礎指針グレードAに内包されると考えられるが、これについては次の設計用限界値と合わせて議論が必要である。

■ 杭の設計用限界値

設計用限界値の考え方は基礎指針を採用する。即ち、ランクSは損傷限界強度以下、ランクAは終局強度以下を基本とする。ランクBはグレードAのうち曲げ降伏を許容する範囲と考えられるが、本試設計において議論が必要である。杭体および杭頭接合部の断面算定については、日本建築学会「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針（案）・同解説」^[1-5]による。

■ 今後の研究課題の抽出

また、基礎指針の内容からは、設計用限界値に関連して以下3点が今後の研究あるいは検討課題として抽出される。

- ① 設定が見送られたグレードBで対応が難しいとされた「基礎構造の修復性を考慮した損傷の許容範囲」
- ② 具体的検証法が記述されなかった「グレードCの性能確認方法」
- ③ 実験的検証によっても設定できるとされた「PHC, PRC, SC杭の設計用限界値」。なお、日本建築学会ではSC杭の検証法が明示されておらず、実務における設計はメーカー認定工法の設計法によっているのが現状である。

【Ⅱ 敷地・地盤条件の把握】

前試設計は2種類の地盤について液状化の可能性はないものとして行った。本試設計も同様の条件とする予定である。地盤情報についても同様とする。

【Ⅲ 大地震時の設計用地震力等の設定】

■ 土圧合力ばねの採用

応答変位法において地下部分と周辺地盤の相互作用を考慮した側面地盤ばね（土圧合力ばね）を考慮する。

■ 地盤の水平変位による荷重

基礎指針^[1-6]では、地盤の水平変位による荷重の算定方法として、4つの方法を挙げている。実務設計では静的解析を用いることが多いため、このなかで次期試設計に採用可能な方法は以下の2つと考えられる。

- ✓ 応答スペクトル法（基礎指針の推奨方法）
- ✓ 等価線形解析（SHAKE等、前試設計で採用）

【IV 耐震設計（1次設計）により杭基礎を設定する】

基礎指針^[1-6]では、応力評価モデルは群杭フレームモデルが望ましいが、1次設計レベルでは杭体はほぼ弾性であることなどを考慮して従来の単杭によるものでも良いとしている。また、地盤変位を考慮した応答変位法を原則としているが、地盤変位が小さい場合などは無視しても良いとしている。

実務における通常の1次設計では杭体は弾性設計を行い、液状化しなければ地盤変位も小さいと考えられるため、本試設計の1次設計の方法は、通常的设计方法を採用した前試設計と同じとする。

【V 大地震時に対して継続使用性を確保するための杭基礎の設計（二次設計）を行う】

■ 大地震時の上部構造の慣性力

大地震時の地上部分の慣性力は基礎指針により、以下のいずれかとする。

- ✓ 必要保有水平耐力
- ✓ 保有水平耐力（基礎構造により高い耐震性能を持たせる場合）

前試設計ではベースシア係数を必要保有水平耐力以上かつ0.4以上としているが、保有水平耐力を採用する場合は上部構造の慣性力が0.4を上回ることもあると考えられる。

地下部分は最大加速度 $4m/s \times Z$ とし深さ方向の低減を行わない。前試設計では震度0.35としており、基礎指針^[1-6]（本試設計）のほうが大きい。

■ 応力評価方法

大地震時の設計用地震力に上部構造の慣性力と地盤の水平変位による荷重を考慮することは前試設計と同じであるが、応力評価方法に以下の知見を取り入れる。

- ① 群杭フレームモデルを用いる。
- ② 上部構造慣性力と地震時地盤変位の同時性を合理的に考え、低減係数を導入する。（前試設計は最大値の重ね合わせ）
- ③ 地盤の変形係数 E_0 は、以下のうちから対象地盤に適した方法で算定する。
 - ✓ 孔内水平載荷試験
 - ✓ 一軸または三軸圧縮試験
 - ✓ $E_0=700N$ （前試設計）
 - ✓ PS 検層
- ④ 杭間隔比と杭本数の考慮した群杭効率評価式を用いる。（前試設計は杭間隔のみによる評価式）
- ⑤ 応答変位法における地盤ばねは基礎指針の水平地盤反力係数および塑性水平地盤反力度によることを基本とする。（载荷条件により地盤反力係数等を変えることはしない）

なお、群杭フレームモデルには、

（ア）杭応力評価用として、杭先端をローラーとし地盤の水平ばねを考慮したモデル

（イ）沈下、傾斜算定用として、杭先端抵抗ばねと杭周面摩擦ばねを考慮したモデル

がある。上部構造の変動軸力が大きい場合は、（b）の計算も行って上部構造への影響を評価することとしている。本試設計での扱いは、上部構造評価の適用条件、変動軸力の影響等を考慮して、以下のいずれかとする。

- ✓ （a）モデルのみとする（前試設計と同じ）
- ✓ （a）、（b）両モデルで評価する

1.2.3 近年の実験研究

本項では、近年実施された実験研究について、(1)で紹介する。また、本報告書で特に関係の深いパイルキャップのせん断耐力に関する研究を(2)で紹介する。

(1) 近年の実験研究の概要

ここでは、近年実施された杭体およびパイルキャップについて、いくつかの実験研究を紹介する。

1) 杭体に関する実験研究について

場所打ちコンクリート杭の実験について、例えば、平井^[1-7]は、場所打ちコンクリート杭のコンクリート強度に関する施工実験を実施している。また、中村ら^[1-8]は、地震によって損傷を受けた場所打ちコンクリート杭の補修方法または補強方法を開発する目的で、静的載荷実験を行った結果を報告している。

既製コンクリート杭の実験について、例えば、浅井ら^{[1-9]~[1-11]}は、杭径 400mm の SC 杭、PHC 杭および PRC 杭の曲げ破壊実験を実施した結果を報告している。他にも、田中ら^{[1-12],[1-13]}は、杭径 400mm の SC 杭、PHC 杭および PRC 杭の曲げ破壊実験の結果を報告している。また、池寄ら^[1-14]は、PRC 杭と SC 杭を用いた杭頭部試験体に対して静的加力実験を行った結果および、杭頭部の復元力特性の評価法について報告している。千濱ら^{[1-15],[1-16]}は、PHC 杭および PRC 杭のせん断破壊実験について報告している。

2) パイルキャップに関する実験研究について

パイルキャップの研究として、近藤・後藤ら^[1-17]は、基礎梁主筋が多段配筋された場合における掻き出し破壊の性状と問題点の検討を目的としたト形部分架構実験について報告している。また、大西・西村ら^[1-18]は、機械式定着された基礎梁主筋の定着長さや柱のせん断補強筋比が、梁主筋の定着性能に与える影響について検討した、ト形部分架構実験について報告している。小林らは、中柱下部分架構の実験^[1-19]や、側柱下部分架構の実験^[1-20]を実施し、杭頭部の曲げモーメントがパイルキャップを介して基礎梁に伝達できる条件などについての検討を報告している。岸田ら^{[1-21]~[1-25]}は、ト形部分架構を有するパイルキャップの内部応力状態、各種鉄筋の効果解明及び、合理的な配筋方法の検討を目的に、パイルキャップのせん断実験について報告している。また、清水・岸田ら^{[1-26],[1-27]}は、地中梁がない線路上空建物に適用できる 1 柱－複数杭構造の構造設計手法を提案するため、基礎梁のない 1 柱－2 杭形式接合部の水平方向正負交番繰返し実験を行った結果を報告している。

(2) パイルキャップのせん断耐力に関する研究

岸田ら^{[1-21]~[1-25]}は、ト形部分架構におけるパイルキャップのせん断実験を実施し、そのせん断耐力の評価式を提案している。また、これらの研究について建築研究資料^[1-28]にまとめている。建築研究資料^[1-22]よりせん断耐力の評価式を以下のように引用する。

$$Q_u = \left\{ \frac{0.068 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{a/D + 0.12} + 0.85 \sqrt{c P_w c \sigma_{wy} + p_c P_w p_c \sigma_{wy} + 0.1 \sigma_0} \right\} b j \quad (3.4-1)$$

ただし、 F_c : コンクリート強度(N/mm²)

p_t : 引張鉄筋比 (%)

a/D : せん断スパン比 ($=L_b/d_e$)

L_b : 基礎梁主筋間距離(mm)

d_e : パイルキャップ有効部材せい(mm) ($= (D_c + D_{pc} + D_p) / 3$)

D_c : 柱せい(mm) (ただし、袖壁付き柱の場合は等価な断面積とした柱せいとする)

D_{pc} : パイルキャップに対する基礎梁主筋の水平投影長さ(mm)

D_p : 杭の等価円形断面せい(mm) ($=\sqrt{A_p}$)

A_p : 杭径+200 (mm)

$c P_w$: 柱せん断補強筋比

$c \sigma_{wy}$: 柱せん断補強筋降伏強度(N/mm²)

$p_c P_w$: パイルキャップせん断補強筋比

$p_c \sigma_{wy}$: パイルキャップせん断補強筋降伏強度(N/mm²)

σ_0 : 軸方向応力度(N/mm²) ($=N_{pc}/(b \cdot d_e)$)

N_{pc} : せん断強度算定用軸力(N)

b : 部材幅(mm) (パイルキャップ幅とする。)

j : 応力中心間距離(mm) ($=7/8 d_e$)

1) 引張鉄筋比 p_t について

引張鉄筋比 p_t の計算では、式(3.4-2)のように引張鉄筋の断面積 a_t をパイルキャップ部材幅 b とパイルキャップ有効断面せい d_e で除して計算している。ただし、 a_t に参入する鉄筋は、杭-基礎梁が開く方向の際は、引張側最外縁の柱主筋と、杭の中心より引張側の杭頭定着筋（アンカー筋）を有効としている。図 1.2.3-1 に本実験における杭と杭頭定着筋の断面図を示す。実験時の定着筋のひずみの大きさから、定着筋の中心が杭の中心より引張側に配筋されている鉄筋を有効とした。図 1.2.3-1 においては黒で塗りつぶされた鉄筋を有効とする。杭-基礎梁が閉じる方向の際は引張側最外縁の柱主筋のみを有効としている。

$$p_t = \frac{a_t}{b \cdot d_e} \times 100 \quad (3.4-2)$$

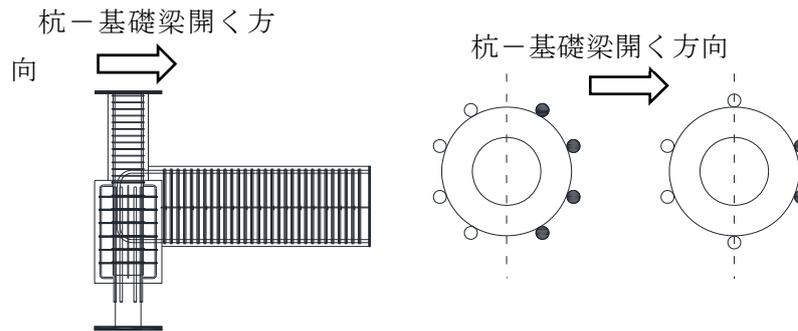


図 1.2.3-1 計算に用いる杭頭定着筋

2) せん断強度算定用軸力 N_{pc} について

せん断強度算定用軸力 N_{pc} は式(3.4-3)のように柱軸力 N (圧縮が正) に基礎梁からのせん断力 Q_b を含めて算出している。杭-基礎梁が開く方向の際は軸力から基礎梁のせん断力(引張変動軸力分)を減じ, 杭-基礎梁が閉じる方向の際は軸力に基礎梁のせん断力(圧縮変動軸力分)を加えるため, 方向により軸応力度は変化する。

$$N_{pc} = \begin{cases} N - Q_b & (\text{杭-基礎梁が開く方向}) \\ N + Q_b & (\text{杭-基礎梁が閉じる方向}) \end{cases} \quad (3.4-3)$$

3) 基礎梁主筋の主筋間距離 L_b について

実施した実験では全ての試験体で基礎梁主筋は1段配筋となっているが, 多段配筋の場合は基礎梁主筋の主筋間距離 L_b は図 1.2.3-2 に示すように重心間距離とするのがよい。

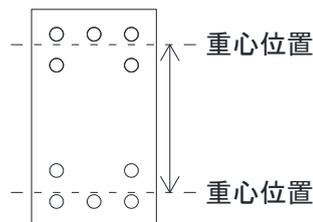


図 1.2.3-2 基礎梁多段配筋時の L_b の例

4) せん断補強筋比の計算方法について

パイルキャップせん断補強筋比 $_{pc}P_w$ は式(3.4-4)のようにパイルキャップ部材幅 b と基礎梁主筋間距離 L_b による断面に対する比としている。なお $_{pc}a_w$ に含めるパイルキャップせん断補強筋は基礎梁主筋間に配筋されている補強筋のみとする。図 1.2.3-3 の赤色で示した鉄筋を有効なパイルキャップせん断補強筋とする。また, パイルキャップ内の柱せん断補強筋比 $_{c}P_w$ も同様にパイルキャップ部材幅 b と基礎梁主筋間距離 L_b による断面に対する比 (式(3.4-5)) としており, $_{c}a_w$ に含めるパイルキャップ内柱せん断補強筋も基礎梁主筋間に配筋されている補強筋のみとする。図 1.2.3-3 の青色で示した鉄筋を有効な柱せん断補強筋とする。

$$p_c P_w = \frac{p_c a_w}{b \times L_b} \tag{3.4-4}$$

$$c P_w = \frac{c a_w}{b \times L_b} \tag{3.4-5}$$

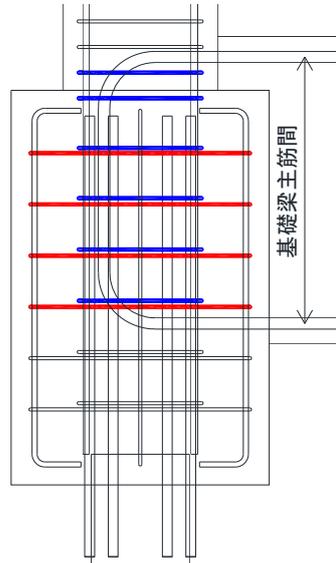


図 1.2.3-3 有効なパイルキャップせん断補強筋と柱せん断補強筋

5) パイルキャップ入力せん断力 V_{ju} について

パイルキャップ入力せん断力 V_{ju} と比較している。実験においては式(3.4-6)のように、パイルキャップに作用する入力せん断力 V_{ju} は基礎梁主筋の危険断面における引張力 T と 1 層柱の負担せん断力 V_c を差し引き求めている。

$$V_{ju} = T - V_c \tag{3.4-6}$$

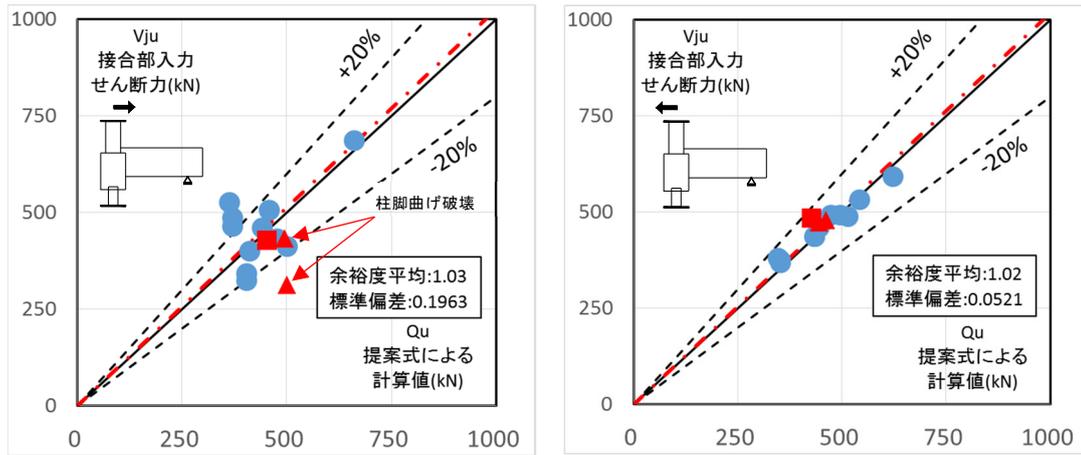
6) 計算式の精度について

式(3.4-1)を用いて計算した結果と実験値の比較を、表 1.2.3-1 および図 1.2.3-4 に示す。杭－基礎梁が開く方向についての実験値／計算値の値の平均値は 1.03、標準偏差 0.196 となり、杭－基礎梁が開く方向についての実験値／計算値の値の平均値は 1.02、標準偏差 0.052 となり、精度よく評価することができた。

表 1.2.3-1 計算諸元および計算値と実験値の比較^[1-27]

試験体名	計算要素											応力中心 間 距離 j (mm)	
	1項			2項						3項			
引張 鉄筋比 ヒラキ P_i (%)	引張 鉄筋比 トジ P_t (%)	コンクリート 強度 (N/mm ²)	せん断 スパン比 M/Qd	せん断 補強筋比 $c P_w$ (%)	降伏強度 $c \sigma_{wy}$ (N/mm ²)	$c P_w \cdot c \sigma_{wy}$	せん断 補強筋比 $p_c P_w$ (%)	降伏強度 $p_c \sigma_{wy}$ (N/mm ²)	$p_c P_w \cdot p_c \sigma_{wy}$	軸力 ヒラキ (kN)	軸力 トジ (kN)		
標準型	0.24	0.24	27.0	1.24	0.0022	370.5	0.81	0.0002	314.2	0.07	628.027	1100.89	368.3
かご筋型	0.24	0.24	27.0	1.24	0.0000	0	0.00	0.0016	370.5	0.61	631.939	1073.017	368.3
No.1	0.30	0.30	25.4	1.52	0.0022	365.7	0.80	0.0011	365.7	0.40	703.204	1052.186	300.1
No.2	0.30	0.30	25.4	1.52	0.0022	365.7	0.80	0.0011	365.7	0.40	691.738	1051.745	300.1
No.3	0.30	0.30	25.4	1.52	0.0022	365.7	0.80	0.0016	365.7	0.60	678.214	1066.004	298.8
No.4	0.75	0.30	26.6	1.52	0.0022	361.5	0.79	0.0029	355.9	1.04	696.606	1076.899	298.8
No.5	0.30	0.30	29.0	1.52	0.0022	361.5	0.79	0.0029	355.9	1.04	766.728	1202.735	298.8
SC-01	0.94	0.26	29.0	1.99	0.0017	393.4	0.65	0.0006	373.6	0.24	677.8	1368.7	350.9
A-1	1.17	0.36	27.2	1.84	0.0015	484.2	0.72	0.0010	484.2	0.48	558.7	911	247.3
A-2	1.17	0.36	28.2	1.84	0.0015	484.2	0.72	0.0010	484.2	0.48	592	948.5	247.3
A-3	1.17	0.36	28.2	1.84	0.0015	484.2	0.72	0.0010	484.2	0.48	587.5	938.8	247.3
B-1	0.99	0.30	28.2	1.56	0.0015	484.2	0.72	0.0010	484.2	0.48	534	986.8	291.1
C-1	0.95	0.29	29.2	1.49	0.0015	484.2	0.72	0.0010	484.2	0.48	666.7	836.8	305.6
C-2	0.95	0.29	27.2	1.49	0.0015	484.2	0.72	0.0022	374.2	0.82	531	916.5	305.6

試験体名	計算結果					
	杭-基礎梁が開く方向			杭-基礎梁が閉じる方向		
	実験値	提案式		実験値	提案式	
	入力 せん断力 V_u (kN)	計算値 Q_u (kN)	余裕度 V_u/Q_u	入力 せん断力 V_u (kN)	計算値 Q_u (kN)	余裕度 V_u/Q_u
標準型	411.2	501.9	0.82	530.7	543.3	0.98
かご筋型	429.6	477.0	0.90	487.1	515.6	0.94
No.1	323.5	405.7	0.80	435.4	436.2	1.00
No.2	340.4	404.7	0.84	434.7	436.2	1.00
No.3	398.2	412.5	0.97	458.3	446.4	1.03
No.4	459.5	491.0	0.94	491.3	474.8	1.03
No.5	504.6	458.8	1.10	490.1	497.0	0.99
SC-01	684.2	662.3	1.03	590.9	623.6	0.95
A-1	524.6	364.7	1.44	378.2	347.6	1.09
A-2	484	372.0	1.30	366.7	354.3	1.03
A-3	461.9	371.6	1.24	372.4	353.5	1.05
B-1	426	453.0	0.94	482.4	428.1	1.13
C-1	310.9	501.2	0.62	473.2	444.4	1.06
C-2	431.5	495.6	0.87	479.4	460.7	1.04



1.2.4 既製杭の地震被害

(1) 震災被害から見えること

1995年の阪神淡路大震災，および2011年の東日本大震災による建物被害について，1981年の新耐震基準で設計された建築物，または旧基準の建物に耐震補強設計がされた建物においては，建物全体が倒壊するような事例は確認されていないようである。一方，上部建物が傾斜するなど杭基礎の損傷が顕在化し，その結果，当該建築物が地震後に継続使用できなくなる，さらには補強をあきらめ解体を余儀なくされた事例が確認されている。

阪神淡路大震災における杭基礎の被害状況については，日本建築学会より近畿支部が実施した被害調査結果が報告されている。被害状況をグラフに整理すると，以下のことが改めて見えてくる。

- ・ 杭基礎の被害部位は，杭頭部に集中している。まずは，杭頭部の改善が必要
- ・ 基礎の被害は，既製コンクリート杭に集中している。

表 1.2.4-1 杭基礎の被害部位

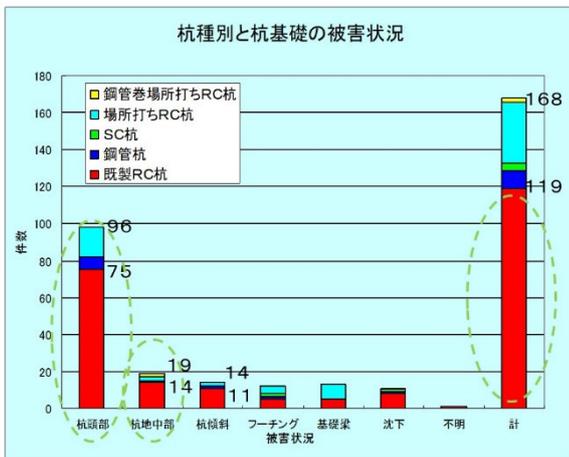
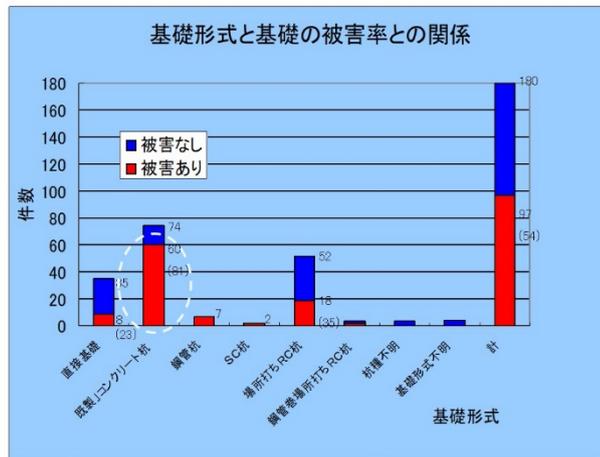


表 1.2.4-2 杭種別と被害



※ 阪神淡路大震災における杭基礎の被害状況

現在，既製コンクリート杭は杭基礎の選択肢として広く普及しており，今後も小・中規模の建築物を中心にそのコスト要因からも多くの設計段階で採用されることが予想される。今後，建物の継続使用性を確保するためには，既製コンクリート杭の杭頭部に着目し，杭頭接合部に靱性能を付与するための工夫，部材性能の改善が必要である。

(2) 継続使用性を確保した設計における既製コンクリート杭の課題

既製コンクリート杭に、安心して大地震時後の継続使用性を期待することができるのか。ここでは、既製コンクリート杭に継続使用性を期待する場合に解決しなければならない条件について、部材性能、設計方法の面から整理する。特に、中空コンクリート断面となる杭材、および鉄筋コンクリート断面としての杭頭接合部について、また杭頭部を半剛接仕様とした場合の可能性について考える。

1) 継続使用可能な損傷範囲を明らかにする

以下に示す部位に関して、それぞれの性能限界（値）を明らかにし、その限界範囲内で設計を納める必要がある。また、杭材等は一般に目視確認（地震後の点検）が困難な地中部となるため、その限界時点での杭材の状況ならびに性能限界に至るまでの損傷の様子を共通認識として示しておく必要があると考える。（実験結果、損傷状況：写真，図，ひび割れの状況）

(a) 杭頭部及び杭頭接合部

a-1) 中空コンクリート断面となる杭材の性能限界（値）は以下を考慮して決定する

- ・ 引張側降伏とする：鉄筋（鋼棒）のひずみ限界（限界回転角）
- ・ 圧縮側は潰さない：コンクリートの圧縮ひずみ 0.25%以内
- ・ せん断破壊より、曲げ破壊が先行する条件
- ・ 薄肉 PC 部が、曲げ圧縮力によって圧壊、特異な爆裂的破壊を生じないための杭材断面の幅厚比～軸力の条件

a-2) 鉄筋コンクリート断面としての接合部の性能限界（値）は以下を考慮して決定する

- ・ 引張側降伏とする：定着鉄筋のひずみ限界（限界回転角）
- ・ 圧縮側は潰さない：コンクリートの支圧強度以内の条件

(b) 杭中間部の性能限界（値）は以下を考慮して決定する

- ・ 終局強度以内とする

2) 継続使用可能な応力に納める工夫を考える

既製コンクリート杭は、工業製品であることからその製品規格に従った構造性能が安定して保証される一方、そのままでは靱性能を期待することはできない状況にある。特に、薄肉 PC 部が圧壊、爆裂的に脆性破壊する被害事例が多く報告されており、これを生じさせないための工夫が大きな課題である。

例えば、

- ・ 薄肉 PC 部の板厚を遠心力製造法の改善でどこまでの板厚を製造できるか
（杭材断面の幅厚比改善，座屈性能の改善，せん断強度の改善）
- ・ 上杭を SC 杭とすることで改善できるか
（せん断強度，圧縮側のコンクリートを潰さない）
- ・ 鋼板トッププレート厚と幅を確保して圧縮ひずみを抑えられないか
（薄肉コンクリート部およびパイルキャップの圧縮ひずみの改善）

4章で実施した既製コンクリート杭をランク A（杭ヒンジを許容しない）に納めた場合の検討結果によれば、大地震時に想定される杭の軸力比は、 $-0.1 \sim 0.3$ 程度となっている。既製コンクリート杭に継続使用性を期待するのであれば、この軸力保持を前提として性能限界（値）を求める必要がある。ここで、地震力は必要保有水平耐力以上、且つベースシェアで 0.4 以上としている。杭の軸力比は N_d

第1章 序論

／ ($A_p \times F_c$), N_d は杭の大地震時設計軸力, A_p は杭頭コンクリート断面積, F_c は杭材コンクリート強度としている。

さらに, 杭頭に生じる応力 (曲げモーメント) そのものをある範囲内に抑える工夫ができれば, 既製コンクリート杭にも大地震時後の継続使用性を期待した設計が可能になると考える。その候補として, 杭頭部の半剛接工法は有効な手段であると期待している。

1.3 各章の概要

1.3.1 2章 杭基礎構造システムの耐震設計及び設計方針

2.1 節では、杭基礎構造システムの耐震設計の概要を示す。2013～2015 年度に作成した継続使用性を確保した杭基礎の耐震設計フローを基本として、最近の知見を反映させた設計フローを示す。

2.2 節では、本設計において対象とする杭基礎工法についての説明を行う。また、対象とする工法のモデル化の方法についての説明も行う。

2.3 節では、1 次設計、2 次設計、保証設計のそれぞれにおいて本設計における設計方針を示す。

2.4 節では、試設計を行う建築物や実施する内容について説明を行う。

1.3.2 3章 設計例 1：学校校舎 A

3章では、図 1.3.2-1 に示すような、地上 3 階の鉄筋コンクリート造建築物である学校校舎 A を対象とした試設計例を示す。また、表 1.3.2-1 のように 4 ケースの試設計を実施し、その実施した結果を該当する項に示す。

表 1.3.2-1 解析ケース一覧と設計例記載場所

	性能目標 ランク	2 次設計時 上部構造慣性力	地盤 種類	杭基礎工法	1 次設計	2 次設計, 保証設計
ケース A1	ランク S	Ds=0.55 相当	地盤 1	—	3.3.1 項	3.4.1 項
ケース A2	ランク A	Ds=0.55 相当	地盤 2	—	3.3.1 項	3.4.2 項
ケース A3	ランク B	Ds=0.55 相当	地盤 2	降伏埋込工法	3.3.1 項	3.4.3 項
ケース A4	ランク B	Ds=0.55 相当	地盤 1	中実杭工法	3.3.1 項	3.4.4 項

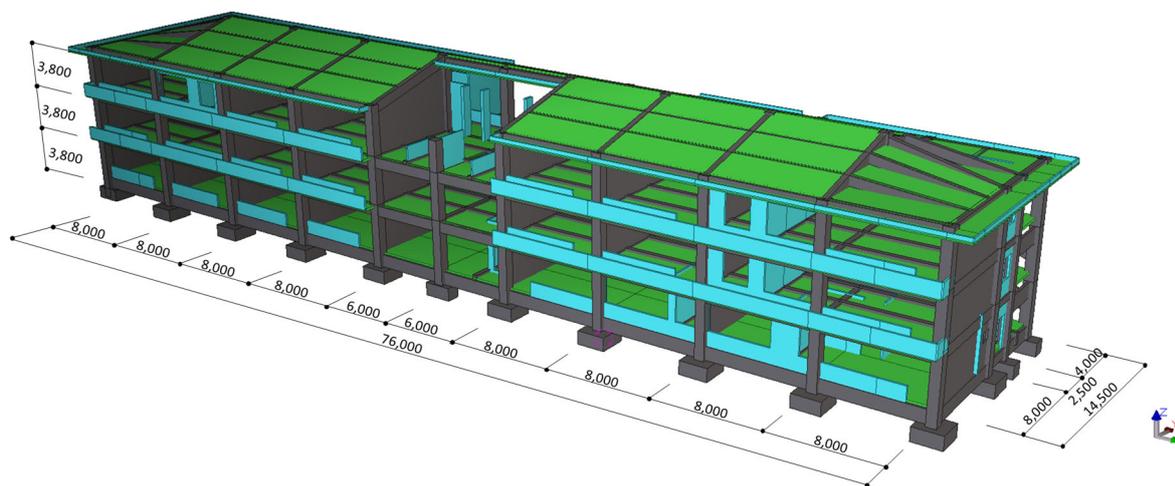


図 1.3.2-1 学校校舎 A

1.3.3 4章 設計例2：共同住宅B

4章では、図1.3.3-1に示すような、地上8階塔屋2階の鉄骨鉄筋コンクリート造建築物である共同住宅Bを対象とした試設計例を示す。また、表1.3.3-1のように3ケースの試設計を実施し、その実施した結果を該当する項に示す。

表 1.3.3-1 解析ケース一覧と設計例記載場所

	性能目標 ランク	2次設計時 上部構造慣性力	地盤 種類	杭基礎工法	1次設計	2次設計, 保証設計
ケース B1	ランク A	Ds=0.55 相当	地盤 2	—	4.3.1 項	4.4.1 項
ケース B2	ランク B	Ds=0.55 相当	地盤 2	降伏埋込工法	4.3.1 項	4.4.2 項
ケース B3	ランク B	Ds=0.55 相当	地盤 2	中実杭工法	4.3.1 項	4.4.3 項



図 1.3.3-1 共同住宅 B

1.3.4 5章 設計例3：共同住宅B（杭頭半剛接合法）

5章では、4章と同様の図1.3.4-1に示すような、地上8階搭屋2階の鉄骨鉄筋コンクリート造建築物である共同住宅Bを対象とした試設計例を示す。また、表1.3.4-1のように2ケースの試設計を実施し、その実施した結果を該当する項に示す。

表 1.3.4-1 解析ケース一覧と設計例記載場所

	性能目標 ランク	2次設計時 上部構造慣性力	地盤 種類	杭基礎工法	1次設計	2次設計, 保証設計
ケース B4	ランク S	Ds=0.55 相当	地盤 2	杭頭半剛接合法	5.3.1 項	5.4.1 項
ケース B5	ランク A	Ds=0.55 相当	地盤 2	杭頭半剛接合法	5.3.2 項	5.4.2 項



図 1.3.4-1 共同住宅 B

1.3.5 6章 設計例4：共同住宅C

6章では，図1.3.5-1に示すような，地上11階の鉄筋コンクリート造建築物である共同住宅Cを対象とした試設計例を示す。また，表1.3.5-1のように6ケースの試設計を実施し，その実施した結果を該当する項に示す。

表 1.3.5-1 解析ケース一覧と設計例記載場所

	性能目標 ランク	2次設計時 上部構造慣性力	地盤 種類	杭基礎工法	1次設計	2次設計， 保証設計
ケース C1	ランク A	Ds=0.55 相当	地盤 1	—	6.3.1 項	6.4.1 項
ケース C2	ランク B	Ds=0.55 相当	地盤 1	—	6.3.1 項	6.4.2 項
ケース C3	ランク A	Ds=0.40 相当	地盤 1	—	6.3.1 項	6.4.3 項
ケース C4	ランク B	Ds=0.40 相当	地盤 1	—	6.3.1 項	6.4.4 項
ケース C5	ランク B	Ds=0.40 相当	地盤 1	降伏埋込工法	6.3.1 項	6.4.5 項
ケース C6	ランク B	Ds=0.40 相当	地盤 1	中実杭工法	6.3.1 項	6.4.6 項

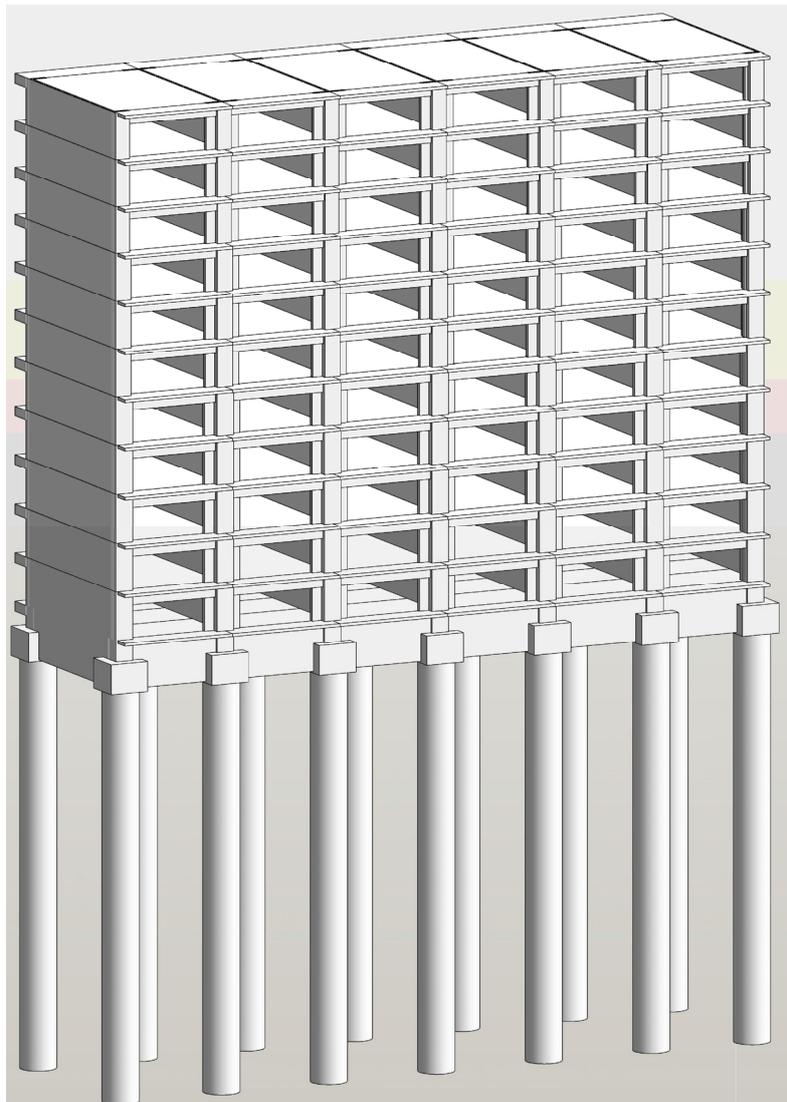


図 1.3.5-1 共同住宅 C

1.3.6 7章 結論

7章では、3章から6章までの試設計結果から得られた知見をとりまとめ、今後の課題について整理する。

参考文献

- [1-1] 若林 博他：地震後の継続使用性を確保した新築建築物の設計・耐震性能評価 その5～その6，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，pp.53～56，2015.9
- [1-2] 溜 正俊他：地震後の継続使用性を確保した既存建築物の耐震補強設計・耐震性能評価 その6～その7，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，pp.37～40，2016.8
- [1-3] 国土交通省住宅局：防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン（新築版），2018.5（2019.6 一部改定）
- [1-4] 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2018）
- [1-5] 日本建築学会：鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針・同解説（案）（2017）
- [1-6] 日本建築学会：建築基礎構造設計指針（2019）
- [1-7] 平井芳雄：高強度コンクリート（ $F_c60\text{N/mm}^2$ ）を用いた場所打ち杭の杭頭部コア圧縮強度調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，pp.643-644，2016.8
- [1-8] 中村聡宏，向井智久，坂下雅信，平出務：場所打ち杭の耐震性能および補修・補強方法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.655-660，2017.7
- [1-9] 浅井陽一ほか：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究：その2 SC 杭の曲げ変形性能実験概要および結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 IV，pp.577-578，2017.8
- [1-10] 石川一真ほか：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究：その3 PHC 杭の曲げ変形性能実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 IV，pp.579-580，2017.8
- [1-11] 新名正英ほか：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究：その4 PRC 杭の曲げ変形性能実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 IV，pp.581-582，2017.8
- [1-12] 田中広夢ほか：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究：その5 引張または高圧縮軸力を受ける既製コンクリート杭の曲げ性能確認実験概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 IV，pp.583-584，2017.8
- [1-13] 田中広夢ほか：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究：その6 引張または高圧縮軸力を受ける既製コンクリート杭の曲げ性能確認実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 IV，pp.585-586，2017.8
- [1-14] 池寄大輔ほか：既製コンクリート杭の復元力特性に関する研究，日本建築学会大会構造系論文集，第743号，pp.89～99，2018.1
- [1-15] 千濱彬比古ほか：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究：その8 PHC，PRC 杭の終局せん断性能に関するせん断実験の概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 IV，pp.589-590，2017.8
- [1-16] 大滝泰河ほか：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究：その9 PHC，PRC 杭の終局せん断性能に関するせん断実験の結

果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.591-592, 2017.8

- [1-17] 近藤晴紀, 山崎寛悦, 後藤康明, 西村康志郎: 多段配筋された RC 基礎梁-外柱・杭接合部の破壊性状に関する研究 (その 1) (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.669-702, 2013.8
- [1-18] 大西直毅, 西村康志郎, 山口悠太, 笹井和也: 機械式定着工法を用いた RC 外柱基礎梁接合部における定着長さとは柱補強筋比の影響, (その 1) ~ (その 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2016.8, pp. 371-376
- [1-19] 小林勝巳, 丸隆宏, 大西靖和, 寺岡勝, 和田章: 水平力を受ける場所打ち杭-基礎梁部分架構の力学的特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 509 号, pp.83-90, 1998.7
- [1-20] 小林勝巳, 丸隆宏, 大西靖和, 寺岡勝, 和田章: 側柱下の場所打ち杭-基礎梁部分架構の耐震性能に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 520 号, pp.61-68, 1999.6
- [1-21] 大和久貴義, 富山善太, 上坂宜嗣, 岸田慎司, 林静雄: ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能に関する実験研究, (その 1) (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.695-698, 2013.8
- [1-22] 小原拓, 岸田慎司: ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能に関する実験研究, (その 3) (その 4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.643-646, 2014.9
- [1-23] 岸田慎司, 伊藤宏亮, 向井智久, 柏尚稔, 平出務, 谷昌典, 金子治, 小林勝巳, 飯場正紀, 土方勝一郎: 既製杭・RC 杭を用いたト型部分架構に対する静的載荷実験, (その 1) (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.215-218, 2015.9
- [1-24] 桑原亮, 岸田慎司, 向井智久, 伊藤宏亮: 既製杭を用いたト形部分架構パイルキャップのせん断強度式の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.331-336, 2016.7
- [1-25] 岸田慎司, 中村直樹, 向井智久, 柏尚稔, 平出務, 坂下雅信, 金子治, 小林勝巳: 既製杭・RC 杭を用いたト型部分架構に対する静的載荷実験, (その 13) ~ (その 15), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.599~604, 2017.8
- [1-26] 清水克将, 福島裕二, 他: 1 柱-2 杭形式 RC 接合部の繰り返し載荷実験 (その 1) (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造-IV, pp.691-694, 2013.8
- [1-27] 清水克将, 岸田慎司, 他: 1 柱-2 杭形式 RC 接合部の繰り返し載荷実験 (その 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造-IV, pp.581-582, 2015.9
- [1-28] 向井智久, 平出務, 渡邊秀和, 中村聡宏, 毎田悠承, 河野進, 岸田慎司, 小林勝巳, 金子治, 福田健, 今井康幸, 木谷好伸, 石川一真, 早川哲生, 長澤和彦, 平尾一樹, 浅井陽一: 大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究, 建築研究資料, No. 195, 2019.10