

杭頭と基礎フーチング間のすべりを考慮した「杭頭縁切り工法」について (その1 設計法とモデル解析)

正会員 小林 恒一*1
正会員 小椋 仁志*1
正会員 和田 章*2

杭頭接合部 耐震設計 動的相互作用

1. はじめに

杭頭接合の歴史を振り返ると、小径の杭を用いていた場合には杭を地業と見なし、基礎部と杭の間には敷砂や捨てコンクリートなどにより縁が切られた工法が一般的であった。杭頭を基礎フーチングに埋め込みさせる場合でも、数 cm 程度の埋め込みで接合筋を設けない場合が一般的であった。この当時の杭は、基本的には鉛直支持性能のみを期待していた。その後、いくつかの地震被害を受け、杭頭部での損傷が明らかになるにつれて、杭自体は地震時の水平力も負担できる水平部材として考えられるようになった。

このような杭頭接合の歴史と地震被害事例の関係について調べると、1978年の宮城県沖地震では杭頭部が大きく損傷した被害事例が多く見られ、杭の耐震設計として設計指針¹⁾が策定されることになった。この時、これまでの杭頭接合と基礎部の接合部における応力伝達について未解明な部分があったが、安全側の設計として杭頭を固定とする考え方が一般的となった。そのため、固定条件を満たす接合工法を標準の接合工法として、既製コンクリート杭では10cm以上の埋め込みと接合筋で杭頭を基礎部と一体化させることが一般的になった。しかし、1983年の日本海中部地震の地震被害事例調査²⁾では、杭頭と基礎部が完全に緊結していない4階建て建物で杭頭に滑動が生じることにより(地震後に建物に約15cmの残留変位有り)杭および建物にほとんど被害が生じていなかった事例が見られた。また、兵庫県南部地震における杭の被害事例から、杭頭と基礎部の間をピンやローラー接合することにより、杭頭部の応力を低減させる工法も開発されるようになってきた³⁾。

残留変位が残ることを問題にしないで良い場合には、基礎部と上部構造を分離した工法および設計は合理的な基礎工法と成りうる事が分かる。ここでは、その一つの工法として、1次設計レベルでは杭と基礎フーチングの滑動を許容しない設計とし、水平力は杭で負担する(ただし、杭頭境界条件はピンあるいは半固定条件)設計とする。さらに、2次設計レベルでは、水平力をすべて杭で負担すると高耐力の杭が必要となるので、ある程度の水平力までは杭(それ以上の水平力で杭頭と基礎部の滑動を許容する)に抵抗し、それ以上の水平力は他の水平抵抗要素(埋込み部、耐震杭など)を考慮しつつ杭との併

用で負担する設計が合理的であると考えられる。

ここでは、このような杭頭接合工法を「杭頭縁切り工法」と呼ぶこととする。本報告では、「杭頭縁切り工法」の設計の考え方およびモデル建物の解析結果について述べる。

2. 設計の考え方

杭頭縁切り工法に関する設計モデルを図1に示す。設計は建物の地震時の水平力を杭と埋込み部で抵抗することを基本としている。通常であれば、杭頭は基礎と緊結するが、ここでは杭頭と基礎部の間に緩衝材を設け、基礎部からあるレベルを超える水平力が作用した場合には、この緩衝材ですべりが発生し、それ以上の水平力は杭頭に作用しない機構とする。

ここで、上記の考え方をを用いて設計する場合の設計条件は以下に示す。また、この設計の考え方に基づいた設計フローを図2に示す。

<設計条件>

- ・1次設計時には、杭と基礎フーチング間の滑動を許容しない。また、杭頭は半固定とし、杭・基礎の設計は許容応力度設計法とする。
- ・建物の層せん断力と基礎部分の慣性力は、杭と埋込み部(または水平抵抗部材)によって抵抗すると考える。
- ・2次設計レベルの大地震時には杭と基礎フーチング間の滑動を許容する。ただし、免震効果等を建物の地震時せん断力に反映させない。

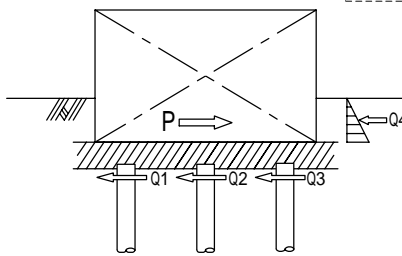


図 1 設計モデル

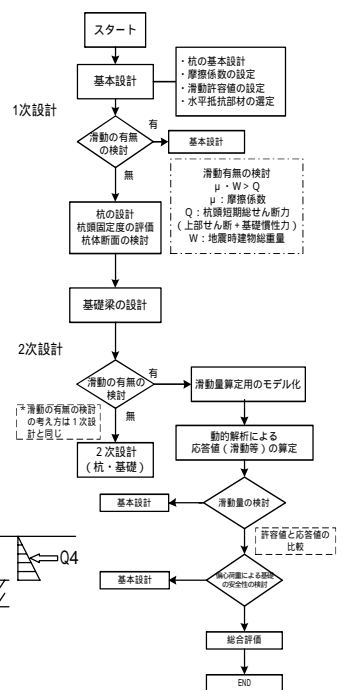


図 2 設計フロー

- ・隅柱、側柱に浮き上がりが生じないアスペクト比の建物に適用する（部分的な浮き上がりは許容する）。
- ・敷地は、建物とある程度の余裕のある場所とする。

3. 解析モデル

4階の建物⁴⁾を対象としたモデル解析を行った。ここでは、杭頭と基礎部のすべり荷重をパラメータとして、摩擦係数が0.2, 0.4 および固定の場合の3種類(case1, 2, 3)を考え、解析を行った。なお、図2の設計フローに従い、杭種や杭長などの基本設計を行っており、ここでは、2次設計における滑動量の算定に関する解析についてのみ報告を行なう。

3.1 解析概要

1) 建物 対象としたモデルは、RC造4F階（X方向：ラーメン構造、Y方向：耐震壁構造）の建物とした。平面形は12m×48m(1×8スパン)であり、高さは12mである。建物の構造特性に関する諸定数は文献4)に示す。

2) 地盤および基礎

- ・地盤 表層からGL-20mまではN値3の粘性層であり、GL-20~30mがN値20の細砂層、GL-30m以深ではN値50の砂礫層である。

- ・基礎 杭頭はGL 2.0mと想定し、杭は杭長22mの既製コンクリート杭とした。杭種は、SC杭(600, L=7m)+PHC杭(600, L=5m)+PHC節杭(600-450, L=10m)とした。杭の長期許容支持力は1200kN/本とし、中柱の基礎フーチングは3本、隅柱下は2本の杭で支持させた。なお、杭以外の水平抵抗要素とし、深さ1.5mの埋込み部を考慮した。

3.2 モデル化

滑動量算定モデルを図3に示す。解析モデルは上部構造および基礎を多質点系モデル（剛性は弾性とする）し、杭および埋込み部をばねでモデル化した。杭のばねは、図4に示す単杭の杭頭せん断力 杭頭変位の関係（杭、地盤ともに非線形性を考慮）から、軸力に摩擦係数に応じた水平力を水平降伏耐力 Q_{py} とし、杭本数倍してbi-linear型にモデル化した。なお、終局モーメントに達した時点を超えて最大耐力としたため、ピンの場合、中間のPHC杭で最大耐力が決まるため、固定条件と最大耐力にあまり差が見られない。埋込み部のばねは、各振動方向に対して、前面受動抵抗 Q_{wy} を文献1)の方法で算定し、bi-linear型でモデル化した。履歴特性について、杭はbi-linear型、埋込み部はスリップ型とした。表1, 2には、杭と埋込み部のばねのモデルに関する定数を示す。

3.3 解析結果

入力地震波は建築センターのレベル2地震波を用いた。以下に、基礎の変位波形と最大加速度分布を示す。

摩擦係数が小さくなるにつれて、滑動量は大きくなり、

摩擦係数が0.2の場合には、最大滑動量は約15cmであった。また、すべり変形に伴い、上部の応答加速度は低減する効果が見られた。Y方向も同様な結果であった。

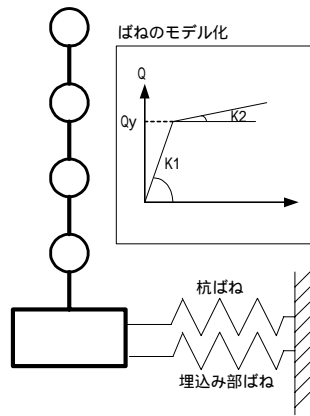


図3 解析モデル

NO	摩擦係数	Q_{py} (kN)	$K1$ (kN/m)	$K2$ (kN/m)
1	0.2	6.8E+03	5.0×10^3	$1/100 * K1$
2	0.4	1.4E+04	3.4×10^3	同上
3	固定	1.5E+04	1.3×10^3	$1/4 * K1$

方向	Df(m)	Q_{wy} (kN)	$K1$ (kN/m)	$K2$ (kN/m)
X方向	1.5	7.1E+02	7.1×10^3	$1/100 * K1$
Y方向	1.5	2.9E+03	2.9×10^3	$1/100 * K1$

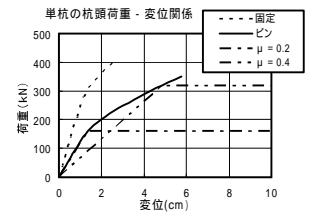


図4 杭頭荷重 変位関係

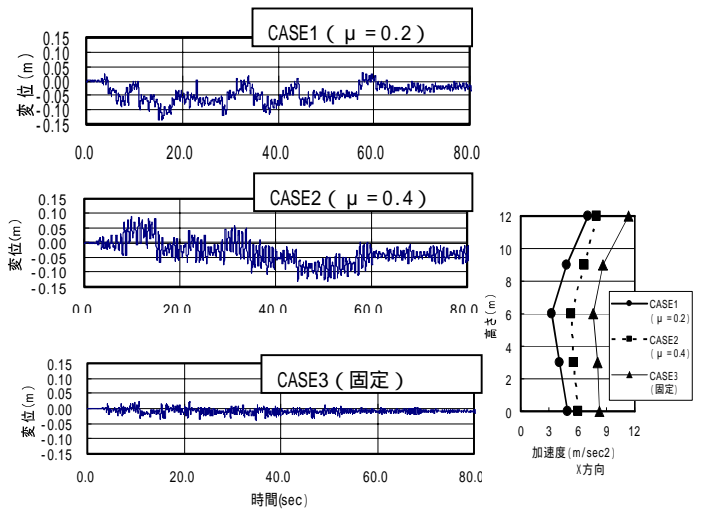


図5 解析結果(X方向)

4. まとめ

- 1) 杭頭部のすべりが許容される場合、地震時におけるその変形を検討する考え方を示した。
- 2) 4階建ての建物の解析事例であるが、摩擦係数が0.2程度でも、最大の滑動量は15cm程度であった。

<参考文献>

- 1) 日本建築センター：地震力に対する建築物の基礎の設計、平成3年7月
- 2) 日本建築学会：1982年浦河沖地震・1983年日本海中部地震災害報告書、PP.205~219、1984年12月
- 3) 日本建築学会構造委員会基礎構造運営委員会：杭基礎の耐震性に関する諸問題、PP.97~110、2000年4月
- 4) 日本建築学会近畿支部摩擦杭設計技術研究委員会：摩擦杭の設計考え方と課題、PP.87~98、2003年3月

*1 (株)ジオトップ 工博

*2 東京工業大学 建築物理研究センター 教授 工博

*1 GEOTOP Corporation, Dr.Eng.

*2 Prof., S.E.R.C., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.