The Japanese Geotechnical Society

杭頭接合法

Method of Pile Head Joint

小 林 勝 巳（こばやし かつみ）
㈱フジタ技術センター 建築研究部長

1. はじめに

杭の地震被害で最も目立つのは，靭性のない杭の曲げ圧縮破壊とせん断破壊である。特に杭頭部の破壊は例が多く，建物の不同沈下に直結することが多い。これらの杭の脆性破壊を避けるために，杭の耐力と変形性能を向上させる研究開発が行われ，多くの成果が得られている。一方で，杭頭部の破壊を避けるためには，杭頭の接合方法を工夫して杭頭部に集中する応力を小さくする方法がある。特に建築分野では，兵庫県南部地震後，杭頭曲げモーメントの低減を目的として，杭頭固定度を小さくする接合方法（ピン接合，半固定あるいは半剛接合）の開発と物件適用が盛んである。これらの杭頭接合法は，杭頭部のみならずパイルキャップや基礎梁の応力をも低減するため，杭基礎全体の合理的な構造計画が可能である。

2. 杭頭固定度とは

杭頭の回転拘束条件の度合いを表す指標として，「杭頭固定度」がある。杭頭固定度 α は，下式で定義される[1]。

$$\alpha=\frac{M_0'}{M_0} \quad \cdots\cdots(1)$$

M_0' は，その接合法の杭頭に生じる曲げモーメントで，M_0 は杭頭固定の場合に同じ水平力が作用したときに生じる杭頭曲げモーメントである。図—1(a)のように，杭頭の回転拘束の度合いを回転ばねに置き換えて考えてみる。杭頭回転ばねの剛性を K_θ とすると，K_θ と α との関係は(2)式および表—1のようになる。ここで，$EI\beta$ は杭頭自由の杭の杭頭部を単位ラジアン回転させるために要する外力（曲げモーメント）である。

$$\alpha=\frac{K_\theta}{EI\beta+K_\theta} \quad \cdots\cdots(2)$$

（EI は杭の曲げ剛性，$\beta=(k_h/EI)^{1/4}$，k_h は杭の水平地盤反力係数）

なお，杭頭半固定あるいは杭頭半剛接合は，必ずしも $\alpha=0.5$ だけを指すわけではない。軸力に応じて杭頭回転剛性が変化する工法も多く，変動軸力の影響を受けて，一つの杭頭接合法の α が0.2～1.0程度まで変化することもある。

表—1 杭頭回転剛性 K_θ と杭頭固定度 α との関係

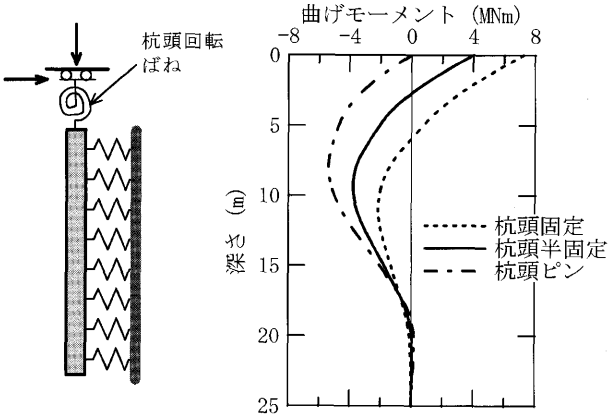
	杭頭回転剛性 K_θ	杭頭固定度 α
杭頭ピン	$K_\theta=0$	$\alpha=0$
杭頭固定	$K_\theta=\infty$	$\alpha=1$
杭頭半固定の例	$K_\theta=EI\beta$	$\alpha=0.5$

3. 杭頭接合法の違いによる杭応力の違い

建築分野では，日本建築センターの「地震力に対する建築物の基礎の設計指針（1984）」の発行以降，杭頭部をフーチングに剛接合し，固定として設計することがほとんどであったと思われる。これは同指針が中小地震を対象としており，そのような設計においては，杭頭固定として応力算定をする方が安全側と考えられるためである。また，軸力が作用する場合には実際にも固定に近いという，構造実験の結果を反映したものでもある。

図—1(b)に，杭頭固定条件の違いによる杭の曲げモーメント分布の比較例を示す。杭は径2mの場所打ち杭である[2]。杭頭固定の場合には，曲げモーメントが杭頭に集中し，杭地中部の最大曲げモーメントに対して約5倍の大きさとなる。そのため，杭を弾性として応力算定を行う場合には，杭頭固定としたほうが安全側である。逆に，積極的に杭頭の固定条件を緩和すれば，杭頭に生じる曲げモーメントを小さくすることができ耐震設計上も有利と考えることもできる。

一方，終局限界状態においてはどうであろうか？ 図—2に終局状態までの杭頭水平力－変位関係の比較を示す[2]。解析は，図—1と同様に杭径2mの場所打ち杭を対象としている。図中「杭頭半固定」とは，$\alpha=0.5$ と



(a) 解析モデル (b) 建物慣性力による曲げモーメント

図—1 杭頭固定条件の違いによる杭の曲げモーメントの比較（弾性解析結果）

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

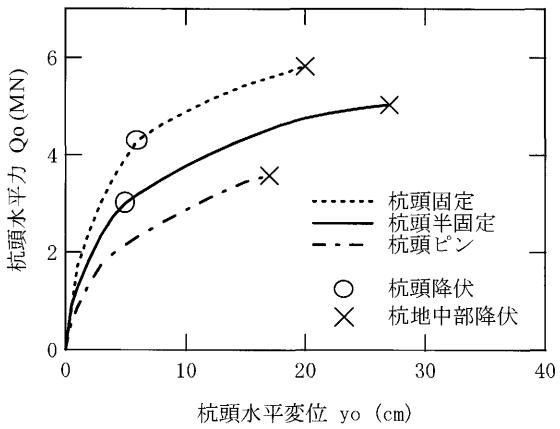
し，さらに杭頭曲げ耐力を固定（剛接合）に対して1/2とした場合である。

一般に，杭頭固定度を低下させると，杭頭に作用する曲げモーメントが小さくなる。そこで，杭頭接合部の変形性能を増す代わりに，杭頭の曲げ耐力を小さくすることが多い。しかし，杭頭曲げ耐力を低下させると杭の終局水平耐力が低下することに注意する必要がある。Bromsの方法による杭頭ピンの終局水平耐力は，杭頭固定の場合の0.6～0.7倍である。また杭頭の回転剛性を低下させると，変形が増大するため，軸力が大きい場合にはP-δ効果の影響が大きくなる。したがって杭頭の回転拘束を緩和すれば，これらの要因に対する設計上の配慮が必要となる。

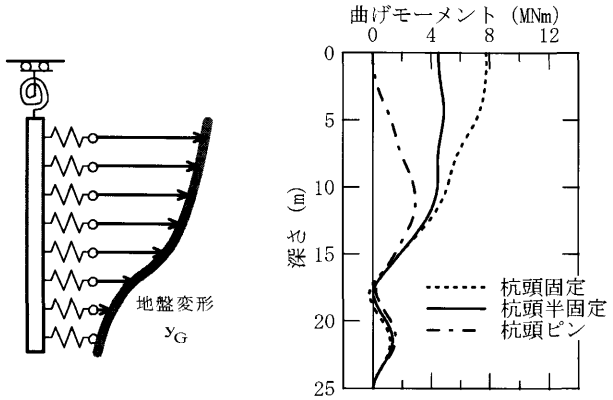
図―2の例では，「杭頭半固定」の場合に杭地中部の配筋量を増やして曲げ耐力を増している。それによって，変形性能とともに，最終的な終局耐力を杭頭固定の場合の9割程度を確保している。

なお，**図―2**は杭頭部の変形性能が大きい場合である。杭頭部の変形性能が小さい杭は，図中の杭頭固定の○印で破壊することになる。これが，従来の地震被害で見られた多くのパターンである。したがって，杭頭接合法を工夫して変形性能の大きいピン接合あるいは半固定型接合を用いれば，杭全体としての変形性能を増大し，地震被害を防止することが可能となる。

図―3に，応答変位法によって計算した大地震動時の地盤変形による杭の曲げモーメントの比較を示す。剛性が大きな場所打ち杭の場合には，地盤変形によっても杭頭の曲げモーメントが大きくなる傾向にある。そのため杭頭を固定としない接合法は地盤変形に対しても有効であることがわかる。



図―2　杭頭固定条件の違いによる杭頭水平力-変位関係の比較



(a) 解析モデル　　(b) 地盤変形による曲げモーメント

図―3　地盤変形に対する杭の曲げモーメント分布

4.　杭頭接合法と性能設計

歴史を遡上ると，従来，杭頭固定型の接合法が全盛の時代があり，さらにその前は，「構造物を載せておくだけ」で，特に接合するという意識を持っていない時代であった。時系列的に並べると，特に構造的に接合していないと考えていた時代，固定接合にしなければならない時代があって現在に至っている。行ったり来たりの感があるが，いずれも地震被害の体験でトレンドが変わってきた。

杭頭固定全盛時代，既製コンクリート杭においては官庁営繕や行政庁等の仕様規定で決められた中かご鉄筋用のバスケットを用いることが多かった。それらの中かごバスケット方式は，高耐力化している現在の杭の性能を，必ずしも満足できないので注意が必要である。固定型といえども仕様規定型の接合方法を用いるのではなく，性能を満足できる杭頭接合法を用いるべきであり，適した工法がいくつも提案されているので，それらを用いるべきである。

現在の杭頭接合法は，杭頭回転剛性あるいは杭頭固定度を実験的に検証して，固定型の接合法，ピン型の接合法，あるいは半固定型の接合法を実現させている。これらのうち，必ずしも，特定の接合法が優れているということはない。地盤条件や杭の変形性能，荷重条件に応じて，最もリーズナブルな杭頭接合方法を選択して，設計に用いるべきであろう。

参　考　文　献

1)　建築基礎構造設計指針，日本建築学会，pp. 322～325, 2001.
2)　小林勝巳・大西靖和・森山英治・丸　隆宏・寺岡　勝・木戸英樹・和田　章：「場所打ち杭の杭頭半剛接合法の開発」，日本建築学会技術報告集，第9号，pp. 65～70, 1999.

（原稿受理　2006.4.23）

NII-Electronic Library Service