戸建住宅用小口径鋼管杭の非剛 接合杭頭処理方法

THE NON-FIXATION PILE CAP PROCESSING METHOD OF SMALL DIAMETER STEEL PIPE PILES FOR SMALL BUILDINGS

吾郷秀夫 — *1 藤井 衛 — *2
黒澤太雅 — *3 荒川範行 — *4

Hideo AGOU — *1 Mamoru FUJII — *2
Taiga KUROSAWA — *3 Noriyuki ARAKAWA — *4

キーワード:

戸建住宅, 小口径鋼管杭, ダクタイル製杭工法, 非剛接合, 杭頭処理, 2001年
芸予地震

Keywords:

Small buildings, Small diameter steel pipe piles, Ductile iron pile method,
Non-fixation, Pile cap processing, 2001 Geiyo Earthquake

In this study, the performance of non-fixation pile cap processing method using pile cap joint was investigated by using two series of experiments, past construction records and excavations. As the result, it is proved that the performance of pile using this method satisfied the performance requirements for small buildings.

1. はじめに

小口径鋼管杭による地盤補強は、現在数多くの施工実績がある。その一方で、鋼管杭の杭頭処理方法は、設計者の指示により、種々多様な方法で行われているのが現状である。杭頭処理方法は、地震時に作用する水平力への対処方法と密接な関係を持ち、大別すると基礎梁と一体化させた剛接合と、回転剛性を低減させる非剛接合がある。

杭の定義は「水平力に対しても上部構造と一体となって抵抗するもの」であり、従来までは、この定義から杭頭処理方法は、剛接合のものが主流であった。

しかし兵庫県南部地震において、杭頭を固定した剛接合では、杭頭接合部での被害が多く報告¹⁾されている。

筆者らは、小規模建築物の場合は、非剛接合の方が良いとの考えを持っている。

なお、論文中の杭頭接合具は、戸建住宅用小口径鋼管杭の非剛接合杭頭処理方法として、杭頭接合部、フーチング、基礎梁の被害を防ぐため開発したものであり、平成13年芸予地震時には広島県下を中心に約3,300棟の住宅で使用されていたが、被害は報告されていない。

以下、杭頭接合具を用いた杭頭処理方法の概要、平成13年芸予地震時の使用状況等を紹介する。

また、当論文で紹介する杭頭接合具及び比較対象となる杭頭処理方法を、以下の通り定義する。

Type-A: 基礎梁と一体化させた杭頭処理 (図-1(a) 参照)

Type-B: 杭頭接合具を用いた杭頭処理 (図-1(b) 参照)

Type-C: 杭頭を基礎梁と接合しない杭頭処理 (図-7(c) 参照)

2. 杭頭接合具の開発プロセス

2.1 戸建住宅用小口径鋼管杭の杭頭処理の例

図-1に、戸建住宅用小口径鋼管杭の杭頭処理として用いられている基礎梁と一体化させた杭頭処理方法(剛接合)の例と、杭頭接合具を用いた杭頭処理方法(非剛接合)の構造を示す。

基礎梁と一体化させた杭頭処理方法は、鋼管杭とフーチング鉄筋とを結合してフーチング内に埋め込むため、水平力に対してフーチング全体で抵抗する構造である。

(a) Type-A (基礎梁と一体化) (b) Type-B (杭頭接合具)

図-1 小口径鋼管杭の杭頭処理例及び杭頭接合具の構造

*1 出雲建設技術部 常務取締役
(〒724-0613 広島県賀茂郡黒瀬町楯原1100-19)

*2 東海大学工学部建築学科 教授

*3 グクパイル工法研究会

*4 ㈱クボタ鉄管研究部 部長

*1 Executive Director, Engineering Div., Izumo Construction Co., Ltd.

*2 Prof., Architecture Dept., Faculty of Engineering, Tokai Univ.

*3 Ductile Iron Pile Method Study Group

*4 Section Manager, Ductile Iron Pipe R&D Dept., Kubota Corp.

杭頭接合具は、鋼管杭とフーチング鉄筋を結合せず、鋼管杭の天端でフーチングの底面を支える構造である。

なお、台風時の風荷重等に対する安定性を考慮し、高さ 37mm の羽根部がフーチング内に埋め込まれているが、地震時には羽根部が容易に変形し、フーチングには一定値以上の水平力や曲げモーメントを伝達させないため、杭頭接合部、フーチング、基礎梁の破壊を防ぐ効果がある。

写真-1 に杭頭接合具の構造例（杭外径 118mm 用）と杭頭への取り付け状況を示す。

当杭頭接合具の材質は、鋼製（SS400）とステンレス製（SUS304）がある。杭頭部への取り付けは被せるだけである。

写真-1 杭頭接合具の構造例と杭頭への取り付け状況
（材質：建築構造用ステンレス鋼材、一般構造用圧延鋼材）

2. 2 戸建住宅における小口径鋼管杭の要求性能

ここでは、戸建住宅における小口径鋼管杭に要求される性能を以下のように設定してみた。

- ① 戸建住宅における杭基礎の主たる目的は、鉛直荷重に対する不同沈下防止である。
- ② フーチングが小規模な断面であるため、地震力により杭頭部に発生する曲げモーメントのフーチングへの伝達を極小化する。

これらの要求性能を満足することが、杭及びフーチングの被災をより小さくすることにつながると考える。

2. 3 戸建住宅における杭頭処理方法の要求性能

上記の要求性能を実現させるための杭頭処理方法は、以下の通りである。

- ① 杭とフーチングとを完全に固定しない。
- ② 地震力をフーチングに極力伝達させない。
- ③ 台風時でも建物の安定性を確保する。

杭頭接合具は、前述のように、これら杭頭処理に要求される性能を満足するものである。

3. 正負交番曲げ試験

杭頭接合具の曲げ剛性を確認し、基礎梁と一体化させた杭頭処理方法との曲げモーメントの比較を行うため、Type-A と Type-B の杭頭処理方法について、軸力を加えた状態で正負交番曲げ試験を実施した。

3. 1 試験方法

試験は、図-2 に示す一定の軸力を加えた状態で水平方向加力ができる載荷装置を用い、フーチングと同じ仕様（設計基準強度 21N/mm^2 ）のコンクリートにセットした杭に、軸力を加えた状態で曲げ荷重を加えた。

なお、軸力は実用常時支持力及び地震時付加軸力を考慮して 30kN、50kN、70kN の 3 条件とした。

試験杭は呼び径 100mm ダクタイル製杭（外径 118mm、管厚 5.5mm、旧建設大臣認定材料 建設省 阪 住指発第 412 号：平成 12 年 11 月 8 日取得）を使用した。

杭頭処理は、フーチングを想定したコンクリートに杭頭処理方法 Type-A と Type-B をセットした。フーチング寸法は $450\text{mm} \times 450\text{mm}$ とした。

計測項目は、軸力、水平力、変位（杭頭部の両側鉛直方向、加力点の水平方向、等）を計測した。

加力方法は、一定の軸力（30kN、50kN、70kN の 3 条件）を加えた状態で、杭頭部から 1000mm 離れた位置から、水平力を変位（回転角）制御方式で加えて、正負交番曲げ試験を行った。

なお、回転角は杭頭部の両側に設けた変位計（図-2 に示す変位計 A-1、A-2）を用いて計測し、 $0.35/100 (=0.2^\circ)$ 、 $0.87/100 (=0.5^\circ)$ 、 $1.75/100 (=1.0^\circ)$ 、 $3.49/100 (=2.0^\circ)$ 、 $5.24/100 (=3.0^\circ)$ の計 5 サイクルの正負交番曲げとした。

図-2 正負交番曲げ試験装置

3. 2 試験結果

- ・図-3 に杭頭部での曲げモーメントと回転角の関係（履歴ループ）を示す。
- ・図-4 に杭頭部での曲げモーメントと回転角の関係（図-3 データの包絡線）を示す。
- ・図-5 に、図-4 に示す杭頭部での曲げモーメントを付加軸力で除した値と回転角の関係を示す。
- ・図-6 に各回転角における Type-A と Type-B の杭頭部曲げモーメントの比率を示す。

試験の結果、次のことが判った。

図-3 に示すように杭頭接合具（Type-B）は、基礎梁と一体化させた杭頭処理方法（Type-A）に比べ正負交番に伴う履歴減衰は小さい。また、軸力の増加に伴い、最大曲げモーメントは増加する。

図-4、5 に示すように杭頭接合具（Type-B）の曲げモーメントは、回転角 $0.2/100$ までは直線的に挙動するが、回転角 $0.5/100$

以降において、曲げモーメント／軸力の値は、0.07～0.10の範囲でほぼ一定値となる。

また、基礎梁に一体化させた杭頭処理方法（Type-A）は、回転角 0.87/100 の時点前後でコンクリートにクラックが生じたが、杭頭接合具（Type-B）は回転角 5.24/100 でも、杭の天端と接するコンクリートの表面が一部剥離したものの、コンクリート本体にはクラックは生じなかった（写真－2～3参照）。

図－6に示す杭頭部曲げモーメントの比率（Type-B／Type-A）は、軸力にもよるが、0.3～0.6の値であった。

図－3 杭頭部での曲げモーメントと回転角の関係

図－4 杭頭部曲げモーメントと回転角の関係

図－5 杭頭部曲げモーメント／軸力と回転角の関係

図－6 杭頭部曲げモーメントの比率（Type-AとType-B）

写真－2 Type-A

試験後の状況

(軸力：50kN、回転角 1.75/100)

写真－3 Type-B

試験後の状況

(軸力：50kN、回転角 5.24/100)

図一 9 軸力別水平力と水平変位の関係 (Type-B)

図一 10 軸力別水平力と水平変位の関係 (Type-C)

4. 3 考察

以上の試験結果を踏まえ、図一 11 に示す木造建物に地震力、台風時の水平力を作用させた場合の水平抵抗力を計算した。条件は、地表面粗度係数Ⅲ、基本風速 32m/s とし、所要必要抵抗力を考慮した場合の考察を以下に述べる。

a) 地震時水平抵抗力 (R)

建築基準法で必要とされる、地震時せん断力係数 $C=0.2$ 相当の水平力を考慮し、下式にて求めた。

$$R = \text{軸力} \times C \quad R: \text{杭 1 本当たり必要水平抵抗力 [kN]} \\ C: \text{地震時せん断力係数 } C=0.2$$

b) 台風時水平抵抗力 (R)

地表面粗度係数Ⅲ、基本風速 32m/s を考慮し、 $R=2.1\text{kN}$ とした。

計算結果と試験結果を比較し、次のことが判った。

- ① 軸力 0kN 時に、Type-B は台風時水平力に対しては、安全率 3.8 程度を有するが、Type-C の抵抗力は期待できない。
- ② 軸力 30kN 時に、Type-B は、台風時水平力に対して安全率 11.4、地震時水平力に対して安全率 4.0 を有する。Type-C は、台風時水平力に対して安全率 9.5、地震時水平力に対して安全率 3.3 を有する。
- ③ 軸力 70kN 時に、Type-B は、台風時水平力に対して安全率 18.1、地震時水平力に対して安全率 2.7 を有する。Type-C は、台風時水平力に対して安全率 22.8、地震時水平力に対して安全率 3.4 を有する。

これらのことから Type-B は、地震時の軸力変動に伴う軸力 0kN の場合にも水平抵抗力 8kN を確保しており、Type-C に比べ優れた耐震性を有しているといえる。

台風時風荷重

図一 11 計算に用いた木造建築物の形状

5. 2001年芸予地震時の実績

5.1 施工実績

2001年芸予地震は、同年3月24日に安芸灘を震源としたマグニチュード6.4の地震であり、広島県南東部、広島県南西部で最大震度6弱を記録した。各地の震度を図-12に示す。家屋損壊は約520棟あった。

当論文の杭頭接合具（Type-B）は、2001年芸予地震時には、広島県下において約3,300棟の戸建住宅で使用されていたが、調査したところ（5.2 杭頭掘り出し調査参照）基礎梁を含む杭頭部での被害は認められず、また調査地以外の被害報告も受けていない。

図-13に、震度5強の府中町、震度5弱の広島市南区、震度4の広島市東区について、杭頭接合具が使用されていた地点を土地区分図とあわせて示す。

この図からも、杭頭接合具が黄色で示す人工改変地を含む広範囲で使用されていたことが判る。

図-12 2001年芸予地震の各地の震度

図-13 杭頭接合具の使用地区例
(2001年芸予地震)

5.2 杭頭掘り出し調査

(1) 杭頭掘り出し調査対象

調査場所：広島県呉市

当該場所での最大震度は震度5強であった。

建物は木造総2階建て、地盤高さ8mの擁壁背面のルーズな埋め戻し土（土質：真砂土）で、侵食による杭の抜け上がりが見られた。杭径は101.6mmで杭頭はフーチング下端で切り揃え、杭頭接合具を嵌め込む処理方法であった。杭の設計支持力は約20kNであった。

(2) 調査結果

調査結果写真を写真-5に示す。調査結果、次のことが判った。

杭と基礎コンクリートは杭頭接合具を挟んで密着しており、杭基礎として上部構造を支持していた。また、基礎コンクリートにクラックは認められず、杭頭部の変形もみられなかった。

杭頭接合具は、鋼管内に嵌め込まれていた羽根部が内側に変形していたが、破壊はしていなかった。

a) 基礎コンクリート b) 杭頭接合部の状況

写真-5 杭頭掘り出し状況

(3) 考察

以上の調査結果から、下記のことが考察される。

杭頭部、杭頭接合部の基礎コンクリートに被害が生じなかったのは、芸予地震時に発生した杭頭曲げモーメントに対して杭頭部が非剛接合であったこと及び、水平力に対して杭頭接合具の羽根部の変形抵抗による緩衝作用があったためと考えられる。

6. まとめ

戸建住宅における小口径鋼管杭の杭頭処理方法として、非剛接合の杭頭接合具について試験結果、施工実績、調査結果を述べた。その結果、正負交番試験から一定値以上の曲げモーメントを伝達しないこと、せん断試験から杭頭接合具の安定したせん断抵抗力のメカニズムが確認された。また芸予地震時の施工実績や杭頭部掘り出し調査の結果から、杭頭接合具を用いた非剛接合杭頭処理方法の基礎及び杭頭部の健全性が確認された。

これらのことから、非剛接合の杭頭処理方法は、台風時や地震時でも杭及びフーチングの被災防止に有効であり、戸建住宅における要求性能を満足するものと判断された。

今後は、ダクトイル製杭や鋼管杭の杭頭処理方法として非剛接合である杭頭接合具が広く普及されていくものと確信する。

[参考文献]

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告 建築編-4 木造建築物・建築基礎構造 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会
- 2) 吾郷秀夫、藤井衛、黒澤太雅、荒川範行：戸建住宅用小口径鋼管杭の非剛接杭頭処理方法 日本建築学会シンポジウム 2003, 2
- 3) 日経アーキテクチャ：杭基礎-杭頭を結合しない, 2001, 3~5
- 4) 例えば、田蔵隆、大槻明、青木孝、真野英之、磯田和彦、岩本利行、荒川範行、石原孝浩、大川雅之：建設コストの低減と耐震性能の向上を目指した新杭頭接合法の研究開発、第26回地震工学研究発表会、土木学会, 2001, 8

[2003年4月16日原稿受理 2003年7月29日採用決定]