

875

鳥取県西部地震で液状化した埋立地における摩擦杭(節杭)を用いた建物の状況

(株) ジオトップ 正会員 ○小椋仁志
 同上 正会員 細田光美
 同上 吉塚昭広

1. はじめに

2000年10月6日、鳥取県西部地震に襲われた米子市と境港市では、PHC節杭を用いた建物の数が160件にのぼっている。筆者らは、地震直後から、これらの建物の状況を調査した。特に、激しい液状化がみられた境港市の昭和町と竹内工業団地の両埋立地では、過半数の建物に節杭が摩擦杭として用いられていることもあって、重点的に調査を行った。本報告では、その調査報告書¹⁾のうち、液状化が特にひどかった竹内工業団地の建物の状況について述べる。また、液状化地盤における基礎設計について考察を加える。

2. 竹内工業団地の建物の状況

竹内工業団地では、図-1に示すように、8割以上の34件の建物に節杭が摩擦杭として用いられている。節杭は1m間隔に節状の突起物をもつPHC杭である。ここで用いられている杭径は、φ440(節部径)-300mm(軸部径)とφ500-400mmの2種類である。施工法は、砂利を充填しながら打込む工法と、セメントミルク工法を改良した埋込み工法に大別される。34件中、前者が7件で、残りは後者である。

地盤は、GL-9~10m程度までは埋立土でN値が0~2の軟弱なシルト層、旧海底面以下はN値10~15程度の細砂層、N値10以下のシルト質細砂層、N値5以下のシルト層がGL-30m付近まで続いている。GL-30~45mにはN値が10~20の砂層が現れるものの、それ以深はN値10以下のシルト層になっており、N値が50以上の砂礫層はGL-70m近くまで現れないところが多い。

節杭を用いた建物が多いのは、このように支持層が深いことや、倉庫、水産物等の加工工場、販売店など低層建物が主

であることによる。杭は、長期鉛直支持力の確保のため、先端部は旧海底地盤に1~2m以上根入れされている。この結果、杭長は11~14mが大半である。また、地震力の検討は不要であったことから、多くはA種(プレストレス量3.92N/mm²)の節杭である。なお、節杭以外では、長さ30m以上の杭(節なし)を用いた建物が4件で、他は直接基礎と思われる。

液状化は団地全体で生じていたが、南部と西部で特に大量の噴砂が見られた。埋立土が液状化したものと考えられるが、この層は近くの海底地盤を浚渫したものであって、粘土分が10%以上、細粒分が85%以上含まれるシルト層である²⁾。このため、現行の設計基準(日本建築学会:建築基礎構造設計指針(1988))では「液状化しない」と判定さる。したがって、建物の設計時には液状化は全く想定されていない。

これらの建物の調査結果をまとめると、以下ようになる。

- ① 34件の建物のうち、損傷や不同沈下など構造的な被害は、工場が少し不同沈下を生じた例と、冷蔵倉庫(85×45m)の付属事務所(8×4m)が少し傾斜した例の2件見られた程度で、あとの建物には構造的な被害は全く見られなかった。
- ② 多くの建物に地盤面と建物との間に20~30cmの段差が生じていた(建物の抜け上がり現象)。これは、地盤面は液状化や震動によって沈下したのに対し、杭が液状化時にも支持力を失わずに建物を支えていたことによるもので、支持杭を用いた建物に多く現れる現象である。今回の地震でも安倍彦名団地の支持杭を用いたRC集合住宅などに見られている²⁾。兵庫県南部地震では、摩擦杭を用いた建物には抜け上がり現象は生じなかった^{3) 4)}が、竹内工業団地では摩擦杭でも生じていた。この理由を、節杭の支持力の面から検討する。

この団地の建物は、杭の設計支持力を140~300kN/本(杭径: φ440-300)として設計されたものが多い。一方、節杭の先端支持力 R_p は、先端平均N値 N_p との回帰式から、ほぼ $200N_p \cdot A_p$ (kN, A_p : 節部閉塞面積)で与えられる⁵⁾。杭先端地盤になっている旧海底面直下の地盤は、N値が10~20のところが多いことから、 $R_p=300\sim600$ kNとなる。したがって、液状化によって周面摩擦力がゼロとなっていたとしても、設計支持力は先端支持力だけで確保できていたことになり、抜け上がり現象が生じたことが説明できる。

- ③ 抜け上がり現象によって1階床下に空間ができた結果、重い機械を用いる工場など床荷重の大きい建物では、土間床(地盤で支持する考え方で設計された最下階の床)が破損した例が見られた。一般倉庫や店舗など床荷重が軽い建物の場合は、土間床でも問題は生じていない。また、床下面を杭や梁で支える構造の建物には、床荷重が大きいものでも異常はほとんど生じていなかった。

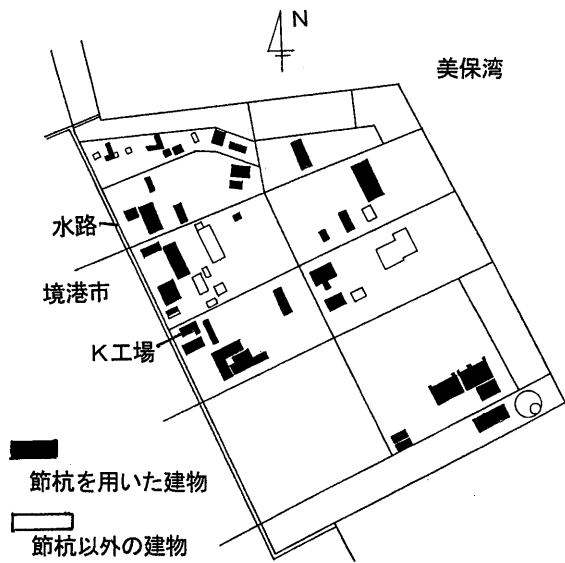


図-1: 竹内工業団地での節杭建物の位置

Investigation of Buildings on Friction Piles (Nodular Piles) at Reclaimed Sites Liquefied during the Tottoriken-Seibu Earthquake

OGURA Hitoshi, HOSODA Terumi and YOSHIZUKA Akihiro (GEOTOP Corporation)

3. K工場の状況

抜け上がり現象、土間床の破損及び不同沈下が少し見られたK工場について検討する。この工場の柱、基礎梁、杭などの位置を図-2に示す。81本の節杭は杭径φ440-300、A種、杭長12m、施工法は打込み工法である。図-3に土質柱状図を示す。杭先端はGL-13m付近のN値が9程度の細砂層(旧海底地盤)に根入れされている。設計支持力は137kN(14tf)/本である。設計時には、液状化は考慮されていない。

地震によりこの建物の周囲でも激しい液状化が発生し、地盤が沈下した。大半の柱は沈下してなかったが、図-2のB⑩の柱だけが地盤とともに下がりし結果、⑩通りの面に少し不同沈下が生じた。この原因としては以下のことが考えられる。

- 1) B⑩には柱がないため、B⑩柱に作用する柱荷重が、⑩通りの他の柱よりも大きかった。
- 2) ⑩通りには、基礎梁が設けられていなかった。
- 3) B⑩柱の横の部分(図-2の斜線部分)は土間床であるが、重い機械が置いてあった。地震時にこの部分は地盤とともに下がりしたが、B⑨とB⑩とを結ぶ基礎梁が設置されていたため、B⑩柱に過大な荷重が作用した。
- 4) 建物の東側と西側で行ったコーン貫入試験の結果を図-4に示す。西側のデータにはGL-7.5~10mの範囲に貫入抵抗の大きい層が見られるが、東側にはない。

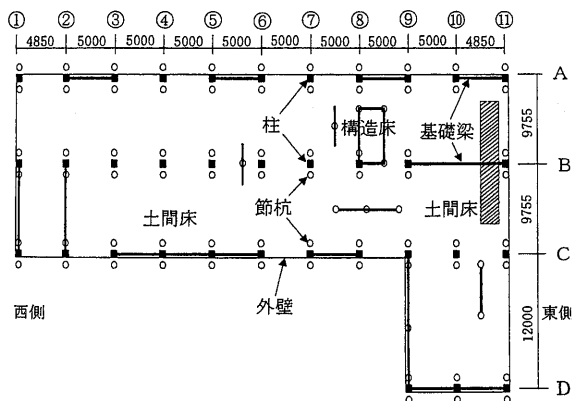


図-2 柱、基礎梁、杭などの配置図

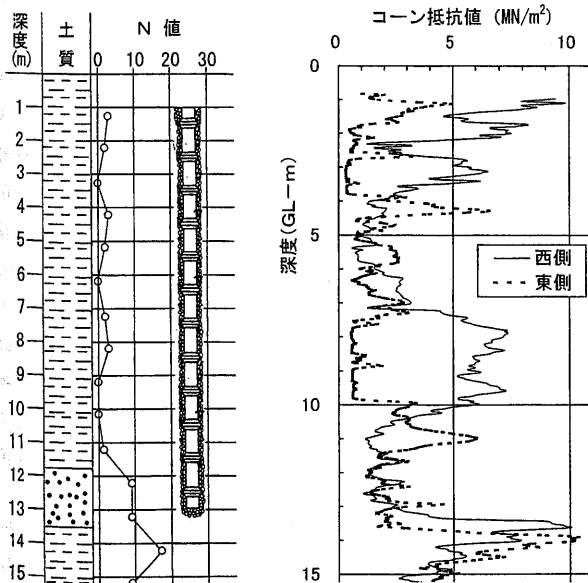


図-3 土質柱状図、N値

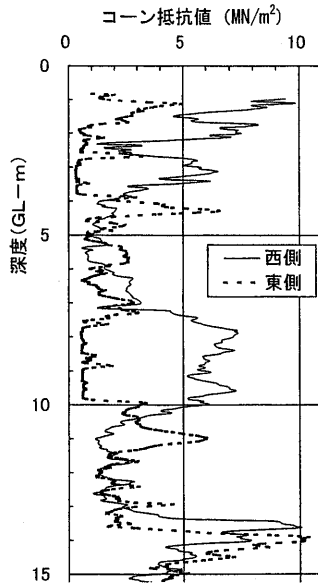


図-4 コーン貫入抵抗値

ように、測定位置は近くであっても地盤状況にはかなりの違いが見られ、⑩通りの近くには杭先端付近にN値が9程度の層が存在しない可能性がある。

以上の諸条件が重なって、B⑩柱のみがとも下がりしたものと推測される。これ以外の柱は沈下しなかった結果、抜け上がり現象が生じ、建物と地盤面との間に20~30cmの段差が生じた。部分的に床荷重の大きい工場であったため、土間床は荷重を支えきれずひどく破損していた。構造床は問題がなかった。なお、この建物は今後も倉庫として利用される。

4. 液状化地盤における基礎設計での検討事項

建築基礎構造設計指針(1988)など現行の設計指針では、液状化が予想される地盤では周面摩擦力を無視したうえで支持力を算定することになっている。これは、新潟地震で、直接基礎や先端が液状化層にある摩擦杭による建物に不同沈下が生じたこと⁷⁾を踏まえたものである。

しかし、兵庫県南部地震では節杭(摩擦杭)の多くは先端が液状化層中にあったにもかかわらず、不同沈下を生じた建物は皆無であった^{3) 4)}。建物は地盤とともに沈下したものとみられ、その結果、抜け上がり現象や土間床の破損も生じていない。この原因としては、杭を多数打設することによる地盤の剛性の増大や節杭の液状化低減効果があげられている⁸⁾。

今回の地震では、杭先端が非液状化層に位置していたために建物がほとんど沈下しなかった。その結果、抜け上がり現象や土間床の破損が生じた。今後の基礎の設計では、これらのことを教訓として、以下のことも検討すべきと考える。

- ① 最下階の床が、荷重の大きい建物や、破損したときに復旧が難しい建物では、土間床ではなく、床部分にも杭を打設するか基礎梁を設ける構造床とする。
- ② 不同沈下の恐れが小さい建物(たとえば、高さ幅比が小さい建物など)では、杭先端も液状化層内で止めておいて、液状化時には地盤と一緒に沈下させる設計とする。

5. おわりに

本報告では、鳥取県西部地震の被災地域における節杭を用いた建物の状況のうち、激しい液状化が生じた竹内工業団地の建物について述べた。液状化による地盤沈下のための抜け上がり現象や、それに伴う土間床の破損等は生じていたが、建物の構造的な被害はほとんど見られなかった。最後に、調査に際してご協力をいただいたK工場に感謝いたします。

参考文献

- 1) ジオトップ:平成12年(2000年)鳥取県西部地震 節杭を用いた建物の調査報告書、平成12年12月
- 2) 地盤工学会・調査部:平成12年鳥取県西部地震災害緊急調査団報告、平成12年12月
- 3) ジオトップ:平成7年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)節杭を用いた建物の調査報告書、平成8年4月
- 4) 田地・石井・小椋・三輪・宮田・内田:事例調査から見た兵庫県南部地震における液状化対策、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、pp.595~596、1998.9
- 5) 山肩・平尾・大杉:節杭の鉛直支持力、第17回土質工学研究発表会、pp.2101~2104、1982.6.
- 6) 小椋:杭の先端支持力算定式に関する一考察(先端平均N値の平均範囲を中心にして)、第45回地盤工学シンポジウム、pp.199~204、2000.11.
- 7) 建設省建築研究所:新潟地震による建築物の被害、建築研究報告No.42、1965.3.
- 8) 小椋・平尾・岡田:最近の液状化対策 実施例 節杭+砂利充填(神戸六甲アイランドにおける実施例)、基礎工、Vol.23、No.12、pp.82~87、総合土木研究所、1995.12.