

正会員 ○梅野 岳*¹ 正会員 松田 竜*⁵
 正会員 加倉井正昭*² 正会員 平川 泰行*⁴
 正会員 浅井 陽一*³ 正会員 毛井 崇博*⁶

PHC 杭 鋼管 合成杭
 二次設計 非線形解析 変形性能

1. はじめに

SPHC 杭は、PHC 杭に鋼管を被せた高耐力で高靱性な既製杭である。著者の一員が開発に参画し、構造性能の検証実験 1)を重ねて来たが、本論では、それらの成果を受けて、SPHC 杭による二次設計への実務資料の整備として実施した試設計からの得られた知見を報告する。

2. 杭基礎モデルの概要

図 1、図 5 に杭基礎モデルの概要を示す。モデル設定には文献 2) を参考とした。以下ではモデルの特徴を示す。

・杭基礎モデル①：層厚約 38mの軟弱シルト層地盤に、杭長 44mで、上杭を SPHC 杭 (800φ~1000φ)、その下部～中・下杭は PHC 杭 (C、A 種) の杭体構成である。

・杭基礎モデル②：表層 7mが二次設計時に液状化し、下部は 20m層厚の軟弱シルト層となる地盤である。長期最大軸力がモデル①の 1.2 倍あり、液状化により表層の水平地盤反力係数が、モデル①の 0.2~0.5 に低下する条件に対して、SPHC 杭の最大杭径を 900φとモデル①より絞った。杭体の圧縮応力度で断面が決定されるため、SPHC 杭内部には FC123 の PHC 杭を使用している。

3. 二次設計の概要

二次設計時設計水平力は、上部構造の必要保有耐力時に杭基礎に作用する水平力とし、水平地盤反力と杭体の非線形性を考慮した二次設計を行った。

この試設計では、現在一般に利用可能な解析ソフトをできるだけ多数試してみることも目的としたため、解析に採用した分離型の杭・地盤モデルも、ソフトに応じて杭頭連結の並列杭モデルと単杭モデルを使い分けている。

水平地盤反力の非線形性は、本会基礎指針の方法で評価した。簡便法として杭体線形解析も行い、杭体の M-φ 関係の非線形性を考慮する解析との比較も行った。

ここでの二次設計の設計目標は、杭体を終局曲げ強度 (Mu) 以内に留めることとした。また、既報の通り SPHC 杭は、降伏曲率の 4 倍 (4φy) まで耐力低下がなく、その時点の損傷も軽微なため、補修を要せずに再利用が可能なことから、SPHC 杭の設計曲率 (φd) を確認し、(4φy) 以内に留まっているか否かも判定した。

なお、各杭または領域分けした杭グループには、必要

保有耐力時の設計軸力を初期軸力として与えている。

4. 解析結果

(1) 荷重-変形関係：

図 2 は、モデル①における地盤・杭体非線形解析における杭基礎全体の荷重-変形関係である。また、図中の赤○印は、杭体線形解析における二次設計時変位を示す。杭体の非線形性を考慮することで、変位が約 25%増大している。モデル②の図は省略するが、杭体線形解析に対して約 20%変位が増大した。水平変位の設計限界を設けなかったが、実務上考慮が必要なことは言うまでもない。

(2) 設計曲げモーメントの検証：

図 2 の荷重-変位曲線の終端はいずれかの SPHC 杭が最初に終局曲げ強度 (Mu) に到達した時点としている。また、曲線上には○印で、いずれかの SPHC 杭が降伏曲げ強度 (My) に達する荷重も明記した。従って、二次設計荷重時には杭体は My を超えるが、Mu には未到達で、二次設計の設計条件は満足されている。モデル②の結果は省略したが同様である。なお、杭体の Mu 到達時に終局せん断強度には達していない。

(3) 二次設計時曲率の確認：

図 3 は、設計軸力毎に 3 折れ線にモデル化した、モデル①での SPHC 杭 M-φ 関係の一例である。最小軸力位置で塑性化進入量の大きい杭の例であるが、二次設計荷重時の最大曲率 (φd) は約 2.8φy で、4φy (■印) 以内が確認された。一方、図 6 は、モデル②における SPHC 杭 M-φ 曲線の一例である。こちらでは断面曲げ解析で求めた M-φ 曲線をそのまま追跡するソフトを用いている。設計軸力の異なる同径 SPHC 杭の曲線を併記するが、どの杭もおおむね二次設計時の設計曲率が (φy) の 2 倍以内に留まっていることを確認した。

(4) 杭体非線形解析の影響：

図 4 はモデル①の SPHC 杭とその下部の PHC 杭の Nu-Mu 耐力曲線上に、杭径毎の正負加力時最大・最小軸力時 Md をプロットした一例である。図中の赤棒で、軸力に依存しない杭体線形解析の Nd- Md も示した。杭体非線形解析時には、押込み側と引抜側の Nd の相違により Md が変動し、押込側に右上がりな Md 分布が生じる。図 7 のモデル

②でも同様の傾向が表れるが、注目されるのはモデル①では、押込側Mdも線形解析

析時Mdを下回ること、おおむね全ての杭で同じ傾向を示す。図8には両モデルでのMdの深さ方向分布の一例を示した。モデル①では、非線形解析時(黒線)が杭頭の最大値でも線形解析時(赤線)を上回らず、深さ方向のMd分布が若干膨らみを増す傾向が僅かに読み取れる。

5. まとめ

本論では杭体の非線形性を考慮した二次設計の試設計性能を活かした二次設計が可能であることを示した。

また、杭体の非線形性を考慮すると、軸力の影響で同径杭でも設計曲げ応力が変動し、線形解析に較べ応力が下がる場合があることを確認した。今後の課題とする。本論はSPHC杭研究会・設計部会での「SPHC杭基礎設計例集」編纂作業の成果の一部である。

参考文献：1) 加倉井他, 鋼管巻きPHC杭 (SPHC杭) に関する研究 (その1~11), 日本建築学会 2014~2018 年度大会 学術講演梗概集 2) 日本建築学会, 建築基礎構造設計例集, 2004.2,

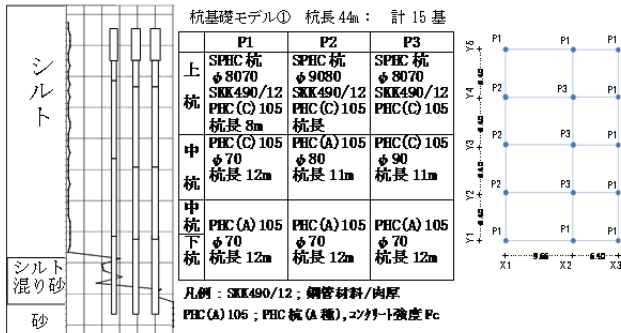


図1 モデル①の地盤条件・杭配置・杭構成

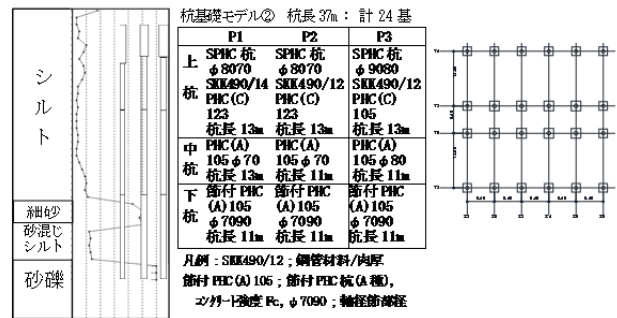


図5 杭基礎(2)の地盤条件・杭配置・杭構成

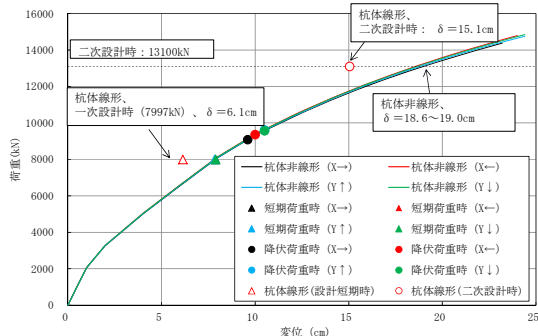


図2 モデル①；二次設計時基礎全体の水平変位

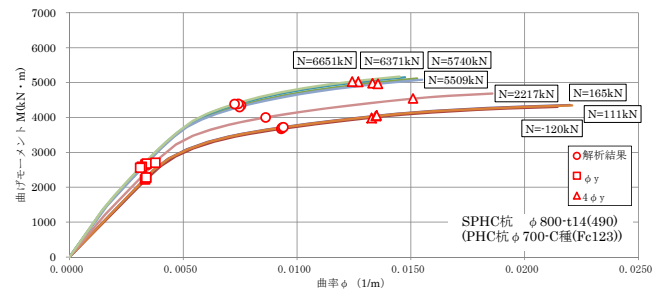


図6 モデル②のSPHC杭φdの一例

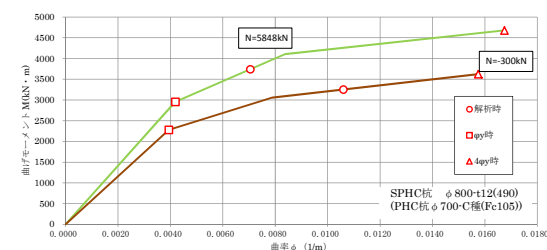


図3 モデル①；二次設計時SPHC杭φd

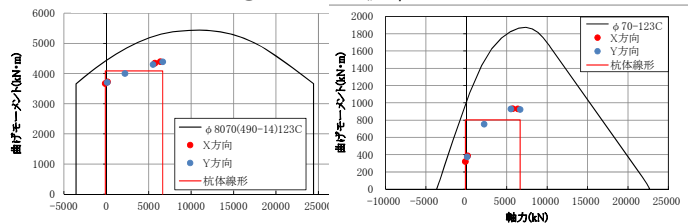
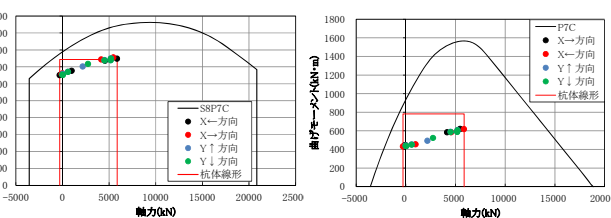


図7 モデル②；二次設計時Md



(b) SPHC杭頭部最大Md

(b)PHC杭部最大Md

図4 モデル①；二次設計時Md (杭体線形時赤枠)

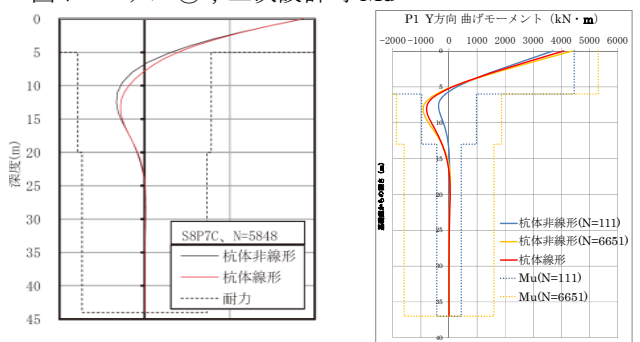


図8 二次設計時Md分布例 (左：モデル①,右：モデル②)

*1 梓設計(株) *2 パイルフォーラム(株) *3 (株)トーヨーアサノ *4 日本コンクリート工業(株) *5 三谷セキサン(株) *6 (前)九州工業大学大学院教授

*1 AZUSA SEKKEI,*2&7 PILE FORUM,*3TOYO ASANO FOUNDATION,*4 NIPPON CONCRETE INDUSTRIES,*5 MITANISEKISAN,*6 Former Prof.Kyushu institute of Tech.