

単純梁方式によるSC杭のM-φ関係の評価(その3:試設計)

既製コンクリート杭 杭基礎 二次設計

正会員 ○田中 佑二郎* 同 小椋 仁志*
同 菅 一雅* 同 中井 伸**
同 関口 徹** 同 中井 正一**

1. はじめに

杭の二次設計を行うためには、杭頭部の境界条件や地盤要素・杭要素の非線形性、地盤の応答変位による外力の影響など適切に評価する必要がある。これらのうち杭要素の非線形性として前報で評価しSC杭のM-φ関係を用いて、モデル建物の二次設計を試みた。本報では、この試設計の結果を報告する。

2. 建物および地盤の概要

試設計を実施する対象建物の平面概要図を図1に示す。対象建物は、鉄筋コンクリート造の地上3階建てで、各柱下軸力は1000~4500kN程度である。上部構造の必要保有水平耐力は8400kNである。

また、土質柱状図を図2に示す。対象地盤の土層構成は、GL-3m付近まで液状化の危険性の高いN=6~8程度の細砂層、GL-18mまではN=0~1の砂質シルト層、粘土、シルト層、GL-35mまではN=9~24の細砂、シルト質細砂層、GL-35m以深はN>60以上の砂礫層である。本試設計は、杭天端をGL-2mとし、支持層をGL-35m以深の砂礫層とする。

3. 杭の二次設計

剛床条件に基づき、各杭頭変位が等しいものとしてせん断力を分配し、杭を非線形性を有する曲げ部材、地盤を非線形性を考慮したばねで仮定した解析モデルを用い、漸増荷重解析法により計算を行う。

杭頭条件は固定とし、降伏曲げモーメントMyに達した後は、杭頭部に塑性ヒンジ(杭頭曲げモーメントM0はMyを保持し、ヒンジの回転は自由)の条件を与える¹⁾。

地盤要素は、各深度別に基準水平地盤反力係数k_{h0}を算出し、水平地盤反力係数k_nは、水平変位量に応じて低減した値で評価する。塑性地盤反力係数は、Bromsの提案式および修正式により算出される塑性地盤反力Pyを用いる²⁾。水平地盤反力は、図3に示すPyを上限とした地盤モデル関係で評価する。

杭要素の曲げ剛性は、地震時における杭頭部の変動軸力が杭全域にわたって一定に作用しているものと仮定し、断面解析により算定した図4に示すトリニアモデルのM-φ関係³⁾から求める。

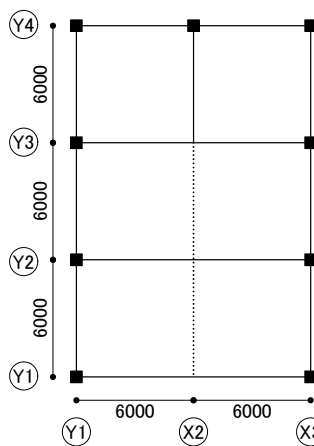


図1. 平面概要図

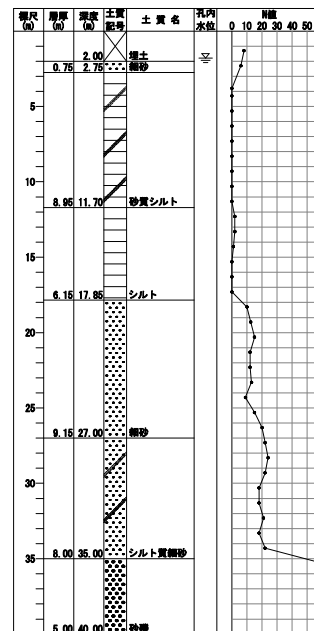


図2. 土質柱状図

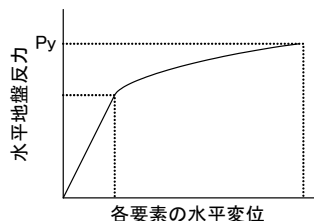


図3. 地盤モデル関係

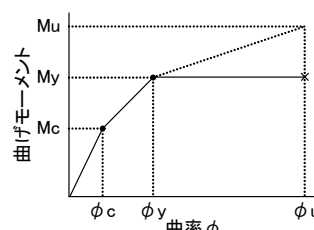


図4. M-φ関係モデル

杭の保有水平耐力は、フレーム内のいずれかの杭基礎で以下のa)~c)の時の杭頭せん断力の総和とする⁴⁾。

- a)杭が2点ヒンジ状態に達する
- b)杭頭の塑性回転角が限界回転量θ_u(0.02rad)に達する
- c)杭が限界曲率φ_uに達する

ここで、θ_uの設定については、基礎指針¹⁾の計算例を参考とし、1/50(0.02rad)を採用する。また、φ_uの設定については、前報で評価したSC杭の破壊時の曲率を考慮し、以下のケース1~3にて試設計を行う。

- ケース 1 : ϕ_u を解析による ϕ_y と仮定
- ケース 2 : ϕ_u を解析による $\phi_y \times 1.2$ と仮定
- ケース 3 : ϕ_u を解析による ϕ_u と仮定

ここで設定したケースは、試験結果より M_y 後の十分な変形性能が確認できなかった中詰め無しの SC 杭をケース 1、解析による ϕ_y の 1.2~1.5 倍程度で破壊した中詰め有り(ソイルセメント)の SC 杭をケース 2、解析による ϕ_u 以上の変形性能を確認できた中詰め有り(コンクリート)の SC 杭がケース 3 と想定している。

杭仕様の選定にあたり、試験を実施した杭径・杭種が外径 600mm の SC 杭であることから、試設計においても上杭には外径 600 mm の SC 杭を用いこととする。

4. 試設計の結果

試設計を行った各ケースの杭仕様一覧表および杭伏図、を表-1、図-5a)~c)に、重量比較表を表-2 に示す。参考として、一次設計のみの場合の検討結果も同図表に示す。

杭本数を比較すると、一次設計のみの場合が 11set に対して、ケース 1,2 が 18set、ケース 3 が 16set と二次設計を行ったことにより杭本数が増えていることがわかる。杭仕様を比較すると、ケース 1~3 は一次設計のみの場合よりも上杭が SC 杭の鋼管が厚い仕様になっており、全体に変形性能の高い杭を使用する結果となった。また、ケース 1~3 は一次設計のみを行った場合と比べて、杭本数が多く、変形性能の高い杭を使用していることもあり、杭総重量・鋼管重量ともに大きくなった。

ケース 1,2 では、 ϕ_u の仮定の影響により杭の保有水平耐力の差を確認することはできたが、杭本数・杭仕様が変わるまでの影響については確認することができなかった。

杭の保有水平耐力の決定条件について、ケース 1,2 はフレーム内のすべての杭頭部で塑性ヒンジが発生することなくの c)で決まったのに対して、ケース 3 はフレーム内のすべての杭頭部で塑性ヒンジが発生した後、中杭 2 が M_y に達し、a)で決まる結果となった。

5. まとめ

- 今回の試設計では、杭の二次設計を行うことにより、一次設計のみの場合よりも杭本数・仕様ともに高いもの結果となった。
- ケース 1,2 の試設計の結果より、 ϕ_u の仮定によって杭の保有水平耐力に差を確認することができたものの、杭頭部の塑性化が十分に見込むことができない場合、杭基礎全体としての耐力増大が見込めない。

・今回の試設計では該当しなかったが、杭の保有水平耐力が b)で決まる場合については、 ϕ_u の大小による耐力差への影響は小さいものと考えられる。

【参考文献】

- 1)日本建築学会：建築基礎構造設計指針, pp.464-468, 2001
- 2)日本建築学会：建築基礎構造設計指針, pp.276-288,2001
- 3)吉田 聡他：日本建築学会学術講演梗概集, 一体解析による耐震性能評価手法の検討(その 2 杭体の $M-\phi$ モデルについて), pp.511-512, 2004
- 4)日本建築構造技術者協会：杭基礎の耐震設計を考える, pp.30-32, 1997

表 1. 杭仕様一覧表

杭符号		P1: ●	P2: ⊙	P3: ○
仕様	上杭 (5m)	φ600SC杭 t=14.0	φ600SC杭 t=12.0	φ600SC杭 t=9.0
	中杭2 (10m)	φ600PHC杭 C種	φ600PHC杭 A種	φ600PHC杭 A種
	中杭1 (10m)	φ600PHC杭 A種	φ600PHC杭 A種	φ600PHC杭 A種 /10m
	下杭 (10m)	φ650-500 節付PHC杭 A種	φ650-500 節付PHC杭 A種	φ800-600 節付PHC杭 A種
杭全長		35m		

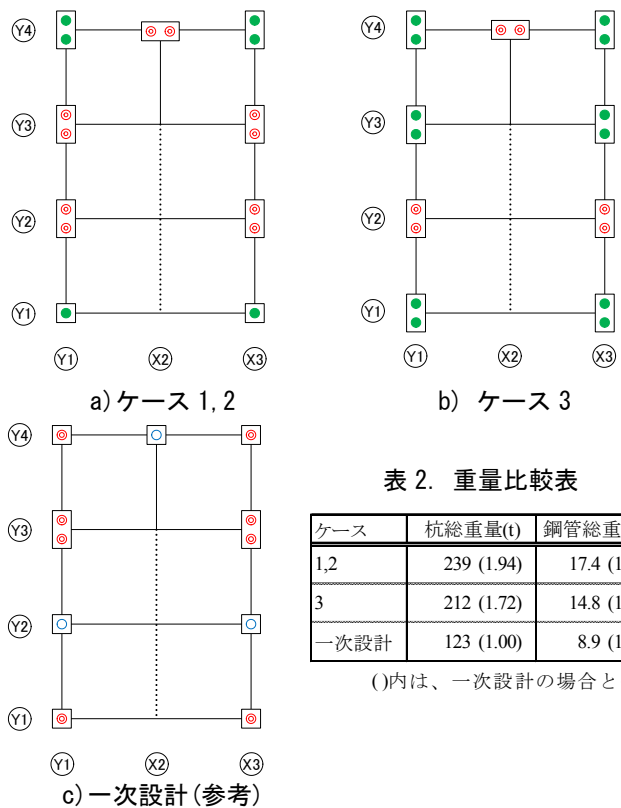


表 2. 重量比較表

ケース	杭総重量(t)	鋼管総重量(t)
1,2	239 (1.94)	17.4 (1.96)
3	212 (1.72)	14.8 (1.66)
一次設計	123 (1.00)	8.9 (1.00)

()内は、一次設計の場合との比

図 5. 杭伏図

* ジャパンパイル
** 千葉大学大学院工学研究科

* Japan Pile Corporation
** Chiba University