

3次元有限要素法に基づく慣性力と地盤変形を受ける杭の最適杭径に関する評価

埼玉大学 学生会員 ○染谷 祥次
 埼玉大学 正会員 齊藤 正人

1. 研究背景と目的

震源で発生した波動は地盤内を伝播し、表層地盤を介して基礎に運動を与え、この運動に伴い上部構造物も運動を始める。

そして、この上部構造物の運動は慣性力として再び基礎に作用する。このように地盤に打設された基礎は地盤変形と上部構造物の慣性力の両方の影響を受けることになる。

近年の耐震設計では、慣性力のみならず、地盤変形の影響を考慮した耐震照査が実施される場合が多い。これは、過去の地震被害の報告を受け、解析的あるいは理論的に研究が進められてきたことによるものである。

しかし、地盤変形の影響の研究は活発化したが杭径寸法の設計において現時点では、まだ未解明な点が多く、研究レベルにおいても、この問題に対する対応策とその物理的解釈は示されておらず、この問題に対する解決は急務であるといえる。

そこで本研究では、3次元有限要素法を用いて、地盤変形と上部構造物による慣性力が同時に作用したときの杭頭ひずみと杭径の関係を把握することを目的としている。

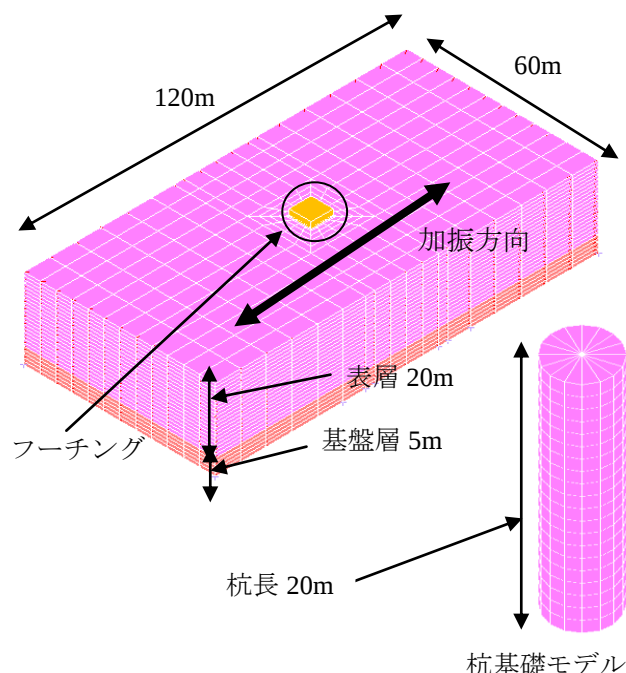


図-1 モデル外観

2. 研究概要

図-1 のような一様地盤の中心に杭長 20m の支持杭を設置し、杭頭をフーチングにより回転拘束したモデルを作成する。また、表層地盤は弾性均質で剛な基盤層で支持されており、杭基礎とその周辺地盤は水平加振時も完全密着を満足すると仮定する。杭径に関しては、半径を 0.2~2.0m の間で変化させ、それぞれの杭径モデルに対し地震動のみの場合、慣性力のみの場合、また地震動と慣性力が同時に杭基礎に作用する場合をそれぞれ case-1, case-2, case-3 に分けて時刻歴応答解析を行う。入力する地盤変形と慣性力の加振方向については図-1 の矢印の一方のみで、その際に生じる疎密波およびせん断はモデルの境界面においてダッシュポットを付与し、粘性境界とすることで反射をなくし、杭の応答に影響がでないようにする。

なお、モデルの諸元については表-1 に示す。今回の解析では地盤変形の影響が出やすいとされる軟弱地盤を想定している。

また、case-3 において、地盤変形による曲げモーメントと慣性力による曲げモーメントは同位相で発生することを想定している。これは、実際には上部構造物の固有周期より地盤の固有周期の方が長い場合におこることで、地盤と上部構造物が同位相で振動していると考えられる。よって杭頭では地盤変位と慣性力が

表-1 モデルの主要諸元

物性		物性値	物性		物性値
表層地盤	層厚(m)	20	基盤層	層厚(m)	5
	密度(t/m^3)	1.8		密度(t/m^3)	2
	せん断弾性波速度(m/s)	69.21		せん断弾性波速度(m/s)	500
	ポアソン比	0.45		ポアソン比	0.45
	せん断弾性係数	8621		せん断弾性係数	5.00E+05
	ヤング率(kN/m)	2.50E+04		ヤング率(kN/m)	1.45E+06
基礎	疎密波速度(m/s)	229.53	フーチング	疎密波速度(m/s)	1129
	半径(m)	0.2~1.0		幅(m)	7×7
	杭長(m)	20		高さ(m)	0.5
	密度(t/m^3)	1.00E-05		密度(t/m^3)	1.00E-05
	ヤング率(kN/m)	2.50E+07		ヤング率(kN/m)	2.50E+12
	ポアソン比	0.2		ポアソン比	0.2

同位相になるように調和振動を入力する。調和振動の大きさについては、最大水平荷重 $V_{max}=5kN$ 平均せん断ひずみ $\gamma_s=1.0 \times 10^{-5}$ になるように設定する。

平均せん断ひずみについては、基盤層に対する地表の相対変位を層厚で除することで定義できる。

そして、調和振動より得られた杭頭曲げひずみの最大値をそれぞれの杭径に対してとり、杭頭曲げひずみと杭径の関係性を明らかにし、杭頭曲げひずみを最小化する最適杭径を決定する。また、既往の研究により導き出された理論値と比較し、本研究がどの程度整合が取れているのか検証を行う。

キーワード 杭基礎 杭径 杭頭曲げひずみ 相互作用
 連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

埼玉大学 正会員 齊藤正人 TEL048-858-3560

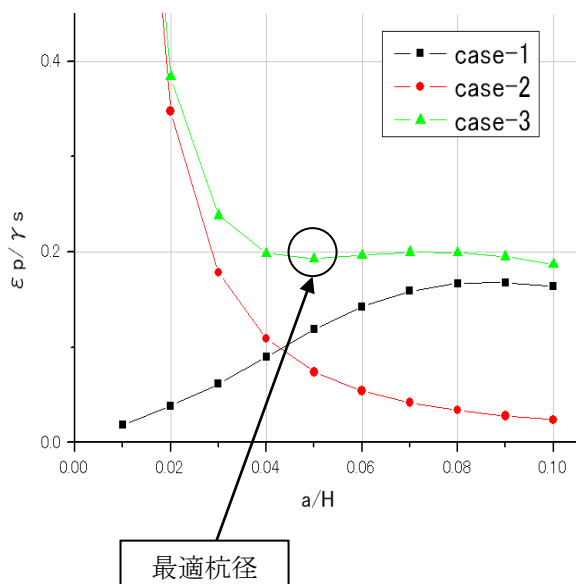


図-2 杭頭曲げひずみと基礎径長比の関係

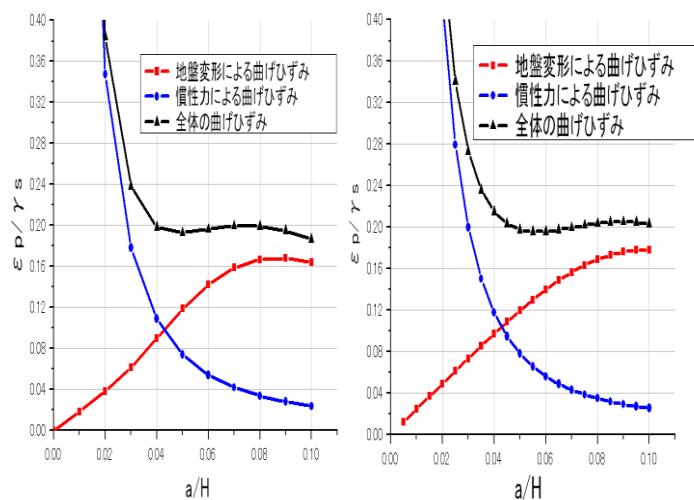


図-3 有限要素法より算出された杭頭曲げひずみ(左)と3次元波動論に基づき誘導された杭頭曲げひずみ(右)の比較

3. 結果と考察

(1) case-1 地盤変形の影響について

図-2のcase-1に着目する。縦軸は杭頭の曲げひずみ、横軸は基礎の半径と長さの比を表している。杭半径 a は限りなく小さくなると杭頭の曲げひずみは零に収束する。また、杭半径を大きくしていくとそれに伴い杭頭曲げひずみも大きくなっていく。図-2でいうと基礎径長比が0.09つまり杭半径1.8mのあたりで杭頭曲げひずみが最大となる。それ以降では、杭半径の増加に伴い減少する傾向がみられる。この理由として、杭半径が限りなく小さい場合は杭の曲げ剛性が低下し、地盤変形とおおよそ等しくなるためである。一方では杭半径を大きくすることによって杭が地盤変形に追従し難くなり応力が発生することで、より大きな曲げひずみが生じるようになり最終的には変形が生じにくくなるためと考えられる。よって一般的な杭基礎の諸元を考慮すると、地盤変形による杭頭曲げひずみを小さくするためには杭半径をより小さくすることがよいと考えられる。

(2) case-2 慣性力の影響について

図-2のcase-2に着目する。基礎径長比が小さい範囲において、基礎径長比を小さくしてしまうと地盤変形の場合と異なり、杭頭での曲げひずみが急激に増加することが分かる。反対に杭半径を増加させると、上部構造物の慣性力による杭頭曲げひずみは著しい減少をみせ、それ以降の範囲では減少は緩やかになる。

(3) case-3 地盤変形と慣性力を同時に受ける場合について

図-2のcase-3に着目する。今回の解析について杭に作用する地盤変形の曲げひずみと慣性力による曲げひずみは同位相であると仮定しているため全体の曲げひずみはそれら曲げひずみの総和とほぼ一致している。

したがって、基礎径長比の小さい範囲においては慣性力によって生じる曲げひずみが支配的であり、基礎径長比の増加に伴い、曲げひずみの減少は顕著である。また、基礎径長比が比較的大きい範囲では慣性力の影響が小さいため、地盤変形の影響がより支配的となる。これによって、基礎径長比の増加に伴い、急激に減少していた曲げひずみは、わずかではあるが一時的に増加した減少を始める。よって一般的な杭の諸元から考えると、基礎径長比 $a/H=0.05$ が今回のモデルについての最適杭径であると考えられる。

(4) 理論解との比較

図-3は今回の解析結果(左)と既往の研究による3次元波動論に基づいて誘導された杭頭曲げひずみの値である。この理論から得られる曲げひずみと杭径の関係は、有限要素法による関係と一致することが明らかになった。

4. 結論と今後の課題

本解析モデルが、杭頭曲げひずみと杭径の関係を適切に表現できることが判明した。

また今後の課題としては、様々な震動特性を含む実際の地震動を入力しても同じ結果になるか、地盤の剛性や杭の剛性、あるいは杭長を変化させるとどのような変化があるかを調べる必要がある。

参考文献

- (1) 齊藤正人：地盤変形と慣性力を同時に受ける杭基礎の損傷低減のための最適杭径に関する基礎的研究，土木学会論文集 No. 787/I-71, 161-175, 2005. 4
- (2) 杭基礎耐震問題研究会：地震時の地盤変形が杭の耐震性及ばす影響度に関する研究
- (3) 大崎順彦：建築振動理論