

近傍地盤の非線形性が最適杭径に及ぼす影響に関する解析的評価

埼玉大学 正会員 ○齊藤 正人

1. 目的

著者はこれまでに、地盤の強制変形を受ける杭の杭径に最適解は存在するののかというテーマを対象とした検討を進めてきた。ここで最適解とは、杭体に生じる曲げひずみを最小化、もしくは極小化させる杭径（最適杭径）を意味する。既往の研究において著者は、地盤変形と上部構造物の慣性力を同時に考慮した3次元波動論に基づく一様地盤中の単杭の理論解（杭頭は回転拘束条件、杭先端はヒンジ条件と回転拘束条件の2条件を想定）を用いて、杭体の曲げひずみと杭径の関係を誘導し、その基本特性を把握した。その結果、地盤変形と上部構造物からの慣性力を同時に受ける場合、曲げひずみを極小化させる杭径が存在することを明らかにした。しかし、設計実務においては、地盤抵抗や杭体の非線形性、あるいは複雑な互層地盤の影響を踏まえた最適杭径の議論が必要となる。一般に、3次元弾性波動論ではこうした実条件を取り扱うことが極めて困難である。これに対して応答変位法は、既に実務設計で実施しているように、そうした非線形性の影響を容易に取り込むことが可能であり、設計実務に応じた複雑な条件下での最適杭径の特性を評価することができる。そこで本研究では、応答変位法に基づき基礎近傍の非線形性の影響について解析的な評価を実施した。

2. 定式化

解析モデルを図1に示す。解析モデルは杭体を深さ方向に離散化し、弾性梁要素として定式した。境界条件として杭頭を回転拘束、杭先端はヒンジ条件を仮定している。また各節点には地盤反力ばねを設けており、地盤反力ばねは近傍地盤の非線形性を評価するため、バイリニアモデルを仮定し、有効抵抗土圧を上限値とした。初期剛性はGazetas and Dobry(1984)による次式を適用した。

$$kD = 1.2E_g \quad (1)$$

ここで k は地盤反力度係数、 D は杭の直径、また E_g は地盤のヤング率である。また有効抵抗土圧としてBroms(1964)により深さに比例して単調増加する値を想定した。

$$P_y = 3\gamma' D \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) z \quad (2)$$

ここで γ' は有効単位体積重量、 ϕ は土の内部摩擦角である。本計算では、内部摩擦角 ϕ を30度と設定した。外的刺激として、杭頭には水平力を、また杭に接していない地盤反力ばね端部に地盤変位を作用させた。当該地盤変位は、表層地盤の非減衰1次固有振動数における変形モードを仮定している。それらの作用方法は、調和波形を有する水平力と地盤変位に位相差を考慮して5周期分を静的に与えている。

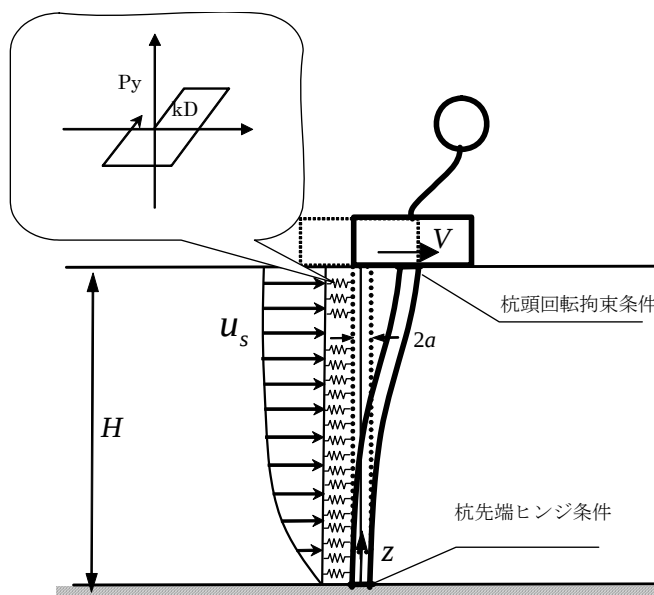


図1 応答変位法に基づく解析モデル

キーワード 杭基礎、最適杭径、非線形性、曲げひずみ、耐震工学

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-853-9993

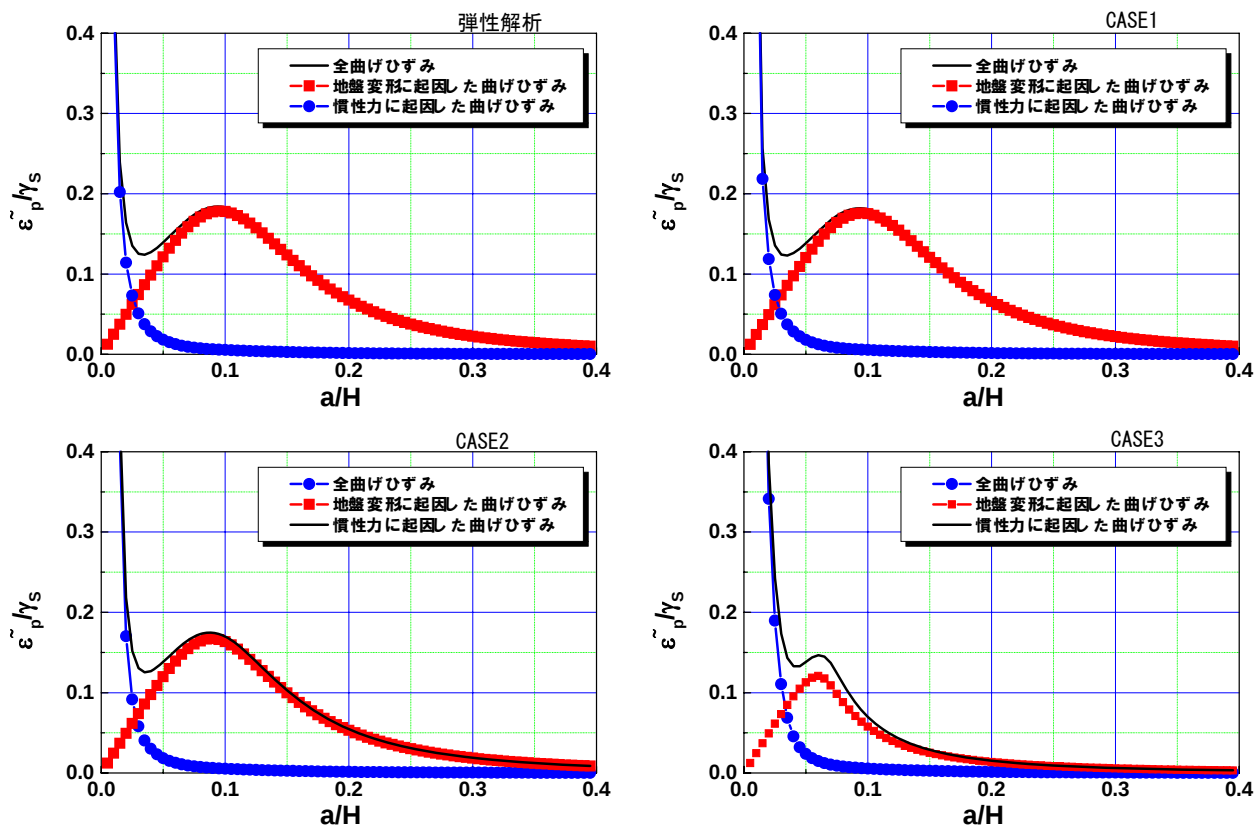


図2 地盤の近傍非線形性を考慮した場合の基礎径長比と正規化曲げひずみの関係

3. 解析結果

本解析では、杭長 20m とし、深さ方向に杭体を 20 分割した。杭のヤング率を $2.5 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ とし、地盤と杭の剛性比を $E_g/E_p = 0.001$ と仮定した。また、杭頭水平力 V と地盤変形の各最大振幅の比率を表す指標 ($F_r = V/(\gamma_s E_p H^2)$) を一定とし、 1.0×10^{-5} を想定している。ここで、杭頭水平力 V は 10kN (Case1), 100kN (Case2), 1000kN (Case3) の 3 ケースとした。本検討において種々のパラメータスタディを実施しているが、本紙ではそれらの代表例として、位相差 ϕ を 0 の場合を示す。図2は縦軸に杭頭曲げひずみを地盤の平均せん断ひずみで正規化した値（正規化曲げひずみ）を、また横軸に径長比 a/H を取った。曲げひずみは解析において生じた最大値を用いている。また、図中、地盤変形と慣性力を同時に受けた場合の曲げひずみ（実線）、地盤変形のみを作用させた場合の曲げひずみ（■線）、慣性力のみの場合の曲げひずみ（●線）を示しており、解析は各々の荷重条件に対して実施している。図2によれば、地盤の非線形性が強く発現するほど（弾性→C1→C2→C3）、地盤に起因した曲げひずみのピーク値とそれに対する杭径が低減することがわかる。その理由として、地盤反力が上限値に達する領域が増えるため、杭体が地盤変形に追従し難くなること、そして杭体に生じる曲げひずみが地盤変位の増加に比例して増加しなくなることによるものと考えられる。一方、慣性力については、当該非線形性の発現により、水平支持の味方である地盤抵抗が頭打ちとなることで、杭体の変形を抑制する効果が低減し、曲げひずみが増大するものと推察される。こうした非線形性に対する曲げひずみの相反した特性により、双方の影響を受ける杭の最適杭径は、弾性範囲の最適値 ($a/H \cong 0.04$) と著しい変化は見られないことがわかる。これについては、更なる検討を行い、報告する予定である。

参考文献

- Gazetas, G., Dobry, R. : Horizontal response of piles in layered soils, J. Geotech. Engrg., ASCE, Vol. 110, No. 6, pp. 937-956, 1984.
- Broms, B. B. : Lateral resistance of piles in cohesionless soils, J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, 90(SM3), 123-156, 1964.