

遠心力模型実験による杭の動的水平地盤反力

北海道開発土木研究所 正会員○富澤幸一
正会員 西川純一
齊藤泰弘

1. はじめに

現行耐震設計の震度法および地震時保有水平耐力法¹⁾で規定される杭の地震時(動的)水平地盤反力係数は、地盤調査結果等に基づく常時(静的)水平地盤反力係数から一義的に決定されている。しかしながら、杭は地震作用力に応じて挙動すると同時に杭周辺地盤も応答変位する。そのため、杭基礎の地震時挙動を把握するためには、杭～地盤系の動的相互作用²⁾に関する応答特性の解明が不可欠であり、変状レベルに応じた動的地盤反力の検証が必要である。本研究では、遠心力载荷装置により粘性土地盤および火山灰地盤を対象とした杭基礎に関する静的水平载荷実験および動的加振実験を実施し、杭基礎の地震時挙動検証のため静的水平地盤反力係数と対比した地盤種類別の動的水平地盤反力係数について考察した。

2. 遠心力模型実験概要

遠心力模型実験は、内寸長さ 700mm × 幅 200mm × 高さ 350mm の模型容器を用い、実大の 1/50 縮尺の模型地盤及び模型杭を作成し、土中応力レベルの相似則を満足させるため 50G の遠心加速度を作用させた静的水平载荷実験および動的加振実験とした(図 - 1)。

模型杭は(外径 10mm、肉厚 0.2mm、杭長 400mm)スチールを延伸して特殊加工し、実験時には、橋梁下部工躯体を想定した 400g のウェイトを杭頭に設置し、杭先端は 3D 相当分をソイルセメントに埋め込み杭先端固定条件とした。模型杭には、杭体に発生する応力測定のため

ひずみゲージを設置し、さらに加振時には杭体および地盤中に加速度センサーを配置し計測した。なお、模型杭は曲げ試験により剛性を検証している。模型地盤については、軟弱地盤を想定したカオリン粘土および火山灰地盤の代表例として支笏火山灰を用いた。カオリン粘土は、密度は $\rho = 1.01\text{g/cm}^3$ 、粒度分布はシルト分 57.0 %・粘土分 43.0 %、コーン貫入値は深さに従い直線的に増加し最大値は $q_c = 0.9\text{MN/m}^2$ である。また、火山灰はピット掘による攪乱試料を用い、密度は $\rho = 1.05\text{g/cm}^3$ 、粒度分布は砂分 68.5 %・シルト分 23.4 %・粘土分 8.1 %、コーン貫入最大値は $q_c = 4.4\text{MN/m}^2$ の特性にある。

静的水平载荷試験は一般的なひずみ制御法による。動的加振実験については正弦波を使用した。本試験に先立ち加振台と模型槽のみによる性能試験を実施し、地盤と杭基礎の卓越振動数の関係、本試験における加振台制御ダイナミックアンプ値と加振周波数の設定を照査した。

3. 静的水平地盤反力係数

静的水平载荷試験は、模型杭の杭頭を水平载荷装置により速度 0.25mm/分で载荷するひずみ制御とし、レーザー変位計・ひずみゲージの測定により、杭頭水平荷重～地表面変位～杭曲げモーメントの関係を得た。静的水平地盤反力係数 K_h は、実測された荷重、変位および曲げ応力の関係より、弾性床上の梁の理論に基づく Winkler の離散バネとして算定した。試算の結果、杭径の 1%つまり基準変位量 0.1mm に換算した静的水平地盤反力係数はカオリン粘土地盤で $K_h = 1240\text{kN/m}^2$ 、火山灰地盤で $K_h = 3670\text{kN/m}^2$ が得られた。

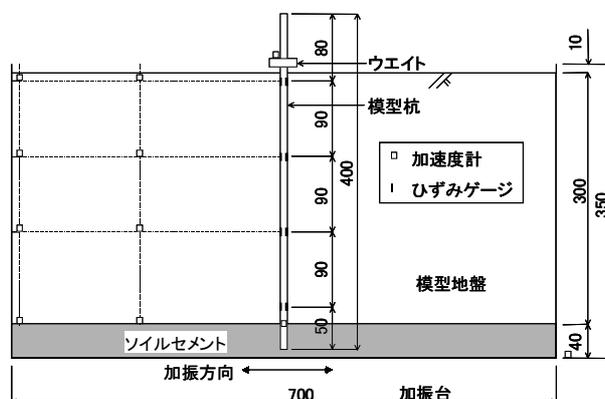


図 - 1 遠心模型実験図

遠心力模型実験、杭、動的、地盤反力係数、地震応答

062-8602 北海道札幌市平岸1条3丁目1番34号 TEL 011-841-1709(365) FAX 011-841-7333

4. 動的水平地盤反力係数

(1) 固有値解析法

動的水平地盤反力係数 K_{he} の推定法にあたっては、動的加振実験の結果より地盤と基礎杭の総合的な卓越振動数を把握することが条件となる。卓越振動数は、事前の性能試験から想定し、さらに正弦波の加振による加速度及び曲げひずみ応答値より決定した。その結果、50G 場においてカオリン粘土地盤における卓越振動数は 50Hz、火山灰地盤における卓越振動数は 70Hz と判定された。

動的水平地盤反力係数 K_{he} は、静的水平地盤反力係数 K_h をパラメーターとした固有値解析を行い、卓越振動数と固有値解析によって求められた固有振動数との一致点とした(図-2)。試算の結果、本算定手法による動的水平地盤反力係数 K_{he} は、カオリン粘土地盤で $K_{he}=1520\text{kN/m}^2$ 、火山灰地盤で $K_{he}=4850\text{kN/m}^2$ と計算される。これらは、静的水平地盤反力係数 K_h に対し約 1.3 倍に相当する。

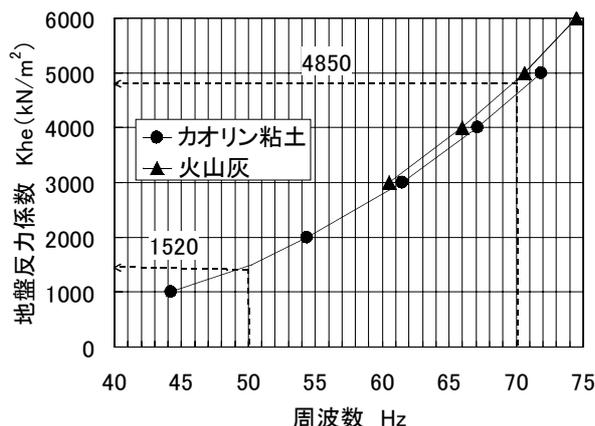


図-2 動的地盤反力係数 K_{he} ～固有値

(2) 相対変位法

動的水平地盤反力係数 K_{he} を静的水平地盤反力係数 K_h の算定に準じ、杭と地盤の相対変位・杭の曲げ応力から求められる水平地盤反力 P ~ 変位 y を用いて算定を試みた。本手法は、図-3に示したフローに従い、加速度及びひずみのフーリエ変換、3次元関数によるカーブフィティング、フィルター操作等の数値処理により、地盤と杭変位の関係、さらに動的水平地盤反力係数 K_{he} を算定するものである。その結果、基準変位量に相当する動的水平地盤反力係数 K_{he} は、カオリン粘土地盤で静的水平地盤反力係数 K_h の約 3 倍の $K_{he}=4170\text{kN/m}^2$ 、火山灰地盤では静的水平地盤反力係数 K_h と同等値の $K_{he}=3870\text{kN/m}^2$ が得られた。

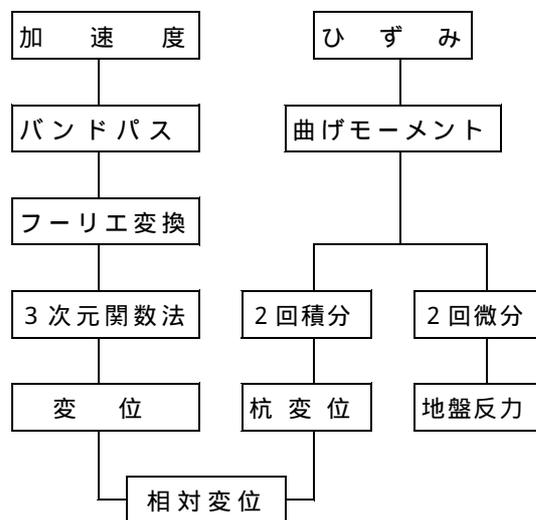


図-3 動的 K_{he} 算定フロー

5. まとめ

道路橋における現行耐震設計では、一般に震度法レベル地震に対する地震時水平地盤反力係数は、常時水平地盤反力係数の 2 倍として扱う。また、地震時保有水平耐力法で規定される地震時水平地盤反力係数については、単杭で地盤に係わらず補正係数 $k=1.5$ であり、常時水平地盤反力係数の 3 倍の値を用いる。しかしながら、本遠心力模型実験の条件において、動的水平地盤反力係数は地盤特性により異なり、概ね以下の事項が明らかとなった。

動的水平地盤反力係数 K_{he} は、ひずみ及びひずみ速度(周波数)に依存性を有しており、共振周波数からの推定が可能である。

動的水平地盤反力係数 K_{he} は、カオリン粘土地盤で地震時保有水平耐力法と同様の静的水平地盤反力係数 K_h の約 3 倍の値が得られたが、火山灰地盤では静的水平地盤反力係数 K_h と同等値となった。今後、耐震設計における動的水平地盤反力係数 K_{he} の適切な評価のためには、地盤の性状及び杭と地盤の応答特性に応じた検討が必要と考える。

参考文献

- 1).道路橋示方書・同解説 耐震設計編 日本道路協会 1996.12
- 2).王、室田、西村：大型せん断土槽を用いた杭基礎と地盤の動的相互作用に関する実験的検討 木学会論文集 2000.10