

遠心模型実験による杭基礎の動的水平地盤反力係数に関する検討

北海道開発土木研究所 正会員 福島 宏文
 北海道開発土木研究所 正会員 西川 純一
 北海道開発土木研究所 正会員 富澤 幸一

1. はじめに

平成 14 年に改訂された道路橋示方書(以下、道示)では、耐震性能の照査方法が静的照査法と動的照査法の 2 つに整理された。これらの照査方法において地震時における基礎変形の影響は、一般に基礎の抵抗をあらわすパネを線形でモデル化して良いとされている。そして、その動的水平地盤反力係数(K_{hc})は、I 種～III 種の地盤強度別の区分はあるものの、静的水平地盤反力係数(K_h)と補正係数の積($K_{hc} = \alpha K_h$)によってあらわされる。この際の補正は、震度法照査時に 2 倍、地震時保有水平耐力法照査時に 3 倍と、比較的簡便に設定されている。しかし、地震時の杭の水平拳動は上部構造と比べて非常に複雑であり、地震力を一括して作用させる現行の耐震設計法は、全てを説明しているものとは言い難い。

そこで本研究では、砂質土地盤を対象として、遠心力载荷装置を用い杭基礎の静的载荷実験および動的加振実験を実施し、その結果を杭基礎の水平方向地盤反力係数に着目して解析検討した。

2. 実験概要

遠心力载荷装置による模型実験には、内寸 700mm × 200mm × 350mm (L × W × H) の鋼鉄製の模型容器を用い、その中に実大の 1/50 縮尺の模型地盤および模型杭を作製した(図 - 1)。模型地盤は珪砂(特 8 号)を用い、所定の高さから落下させ造成した。地盤材料の物理試験結果を表 - 1 に示す。模型杭として外径 10mm、肉厚 0.2mm、杭長 400mm に加工した鋼製パイプを用意した。模型杭設置の際、杭先端を杭径の 3 倍相当分支持層を模した石膏層に埋め込み、先端固定条件とした。

杭体及び地

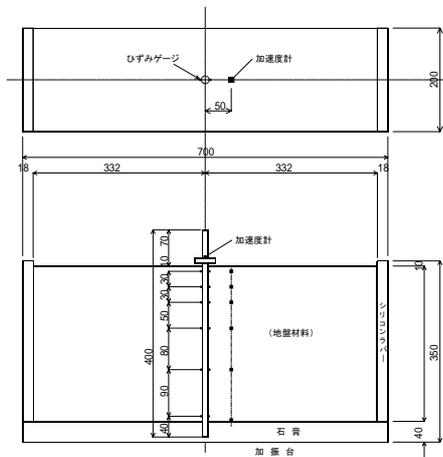


図 - 1 模型土槽概要図

盤の応力・変位状態の測定のため、模型杭にひずみゲージ、地盤中及び杭頭位置に加速時計を設置した。

土中応力レベルの相似則を満足させるため、50 G の遠心加速度を作用させ、静的水平载荷実験及び動的加振実験を行った。加振実験時には、橋梁下部工躯体を想定した 400 g のウエイト(実大で $P = 0.4 \text{ kg} \times 50^3 = 50 \text{ ton}$)を杭頭に設置した。本検討において取り扱う値は、50G 場における数値である。

表 - 1 模型地盤材料の物性

	土粒子密度 (g/cm^3)	密度組成(%)		
		砂分	シルト分	粘土分
珪砂特 8 号	2.638	0.3	94.8	4.9

3. 静的水平地盤反力係数の算出

静的水平地盤反力係数算出のため、杭の静的水平载荷試験を行った。杭の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载荷する多サイクル方式にて行った。杭変位量はレーザー変位計、杭応力はひずみゲージより測定した。

杭基礎を弾性床上の梁として取扱い、Winkler のパネモデルとした骨組みモデルを用いて静的地盤反力係数を算出した。実験結果から得られた杭頭変位分布および地盤内の杭体応力分布(図 - 2)が解析結果とフィットするよう、離散パネの分布形状(図 - 3)を変化させて繰り返し計算を行った。その結果、静的地盤反力係数(K_h)は $11,000 \text{ kN}/\text{m}^2$ と算定された。

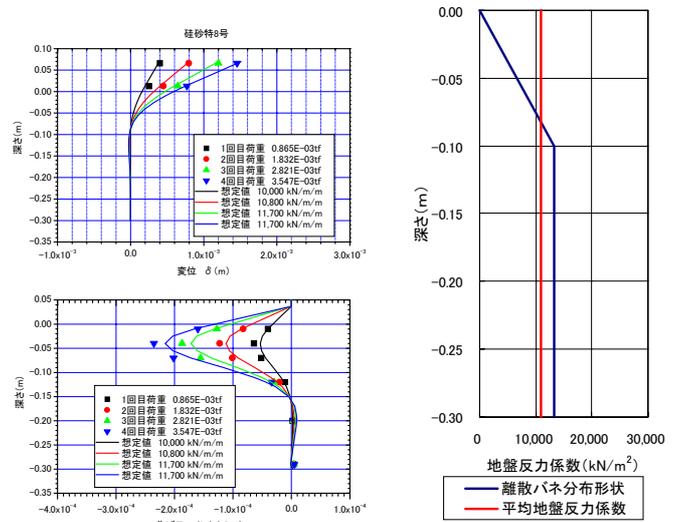


図 - 2 杭変位および曲げ分布 図 - 3 地盤反力係数分布

キーワード 杭基礎 遠心模型実験 動的水平地盤反力係数

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3-1-34 北海道開発土木研究所土質基礎研究室 TEL: 011-841-1709 FAX: 011-841-7333

4. 動的水平地盤反力係数の算出

杭と地盤の相対変位が最も顕著に表れる杭基礎の固有周波数条件(70Hz)での解析を行い、2つの方法(固有値解析法およびp-δ法)により動的地盤反力係数(それぞれ K_{he1} , K_{he2} とする)を算出した。

(1) 固有値解析法による算出

前述の通り、道示では動的地盤反力係数は、常時の係数に補正係数を乗じて地盤の剛性を評価しており、本検討においても、この補正係数に着目し、静的地盤反力係数の解析に用いたバネ分布と同一形状であると仮定して検討を行った。

その結果、入力周波数毎の地盤反力係数の分布から、固有周波数時の値を採用し、動的地盤反力係数 K_{he1} が $20,000\text{kN/m}^2$ ($K_{he1} = 1.8 K_h$)と推定された(図 - 4)。

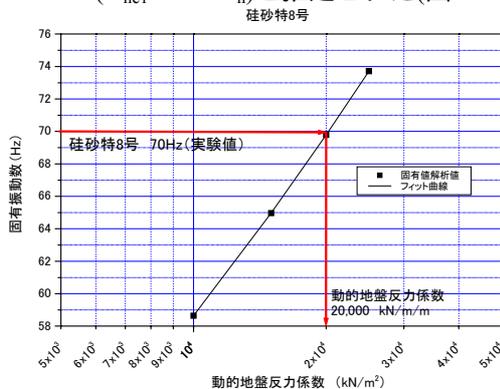


図 - 4 固有値法による動的地盤反力係数

(2) p-法による算出

地盤と杭との間の相互作用による地盤反力係数を算出する方法の一つとして、杭と地盤の間の相互作用力 p と相対変位 δ を算出することで、地盤反力係数を求めた。

杭のひずみ値から曲げモーメント分布を算出し、スプライン関数によって曲線補完した(図 - 5)。曲げモーメントの2回積分によって杭の変位、2回微分によって地盤反力をそれぞれ算出している。直接地盤内の変位

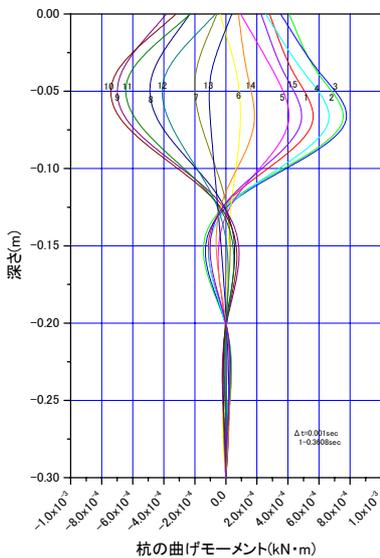


図 - 5 杭の曲げ分布

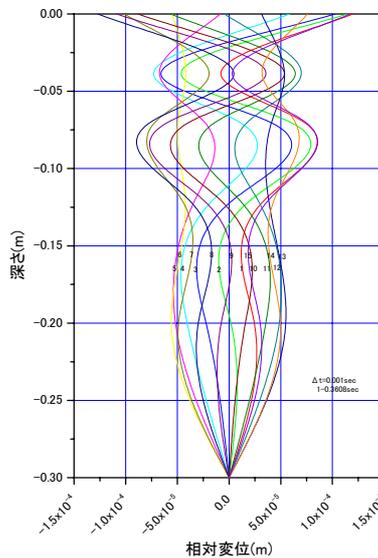


図 - 6 地盤変位分布

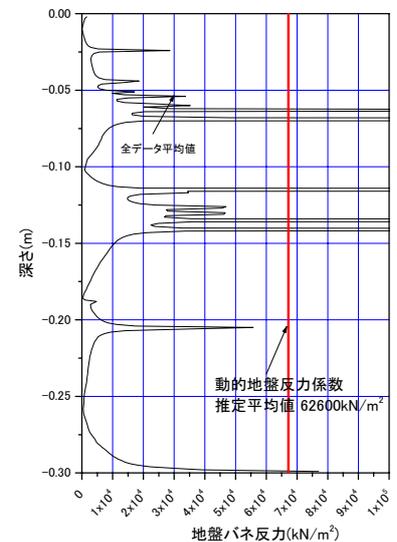


図 - 7 地盤反力係数分布

を計測することが実験装置的に不可能だったことから、地盤の加速度を2回積分して地盤内変位を算出した(図 - 6)。

地盤反力係数分布は、地盤反力分布(相互作用力 p)を杭と地盤の変位差(相対変位 δ)で除することで導いている(図 - 7)。地盤反力係数の分布の平均値から動的地盤反力係数 K_{he2} が $62,600\text{kN/m}^2$ ($K_{he2} = 5.7 K_h$)と推定された。

(3) 算出方法別の比較

地盤反力係数は算出方法別で異なる結果となった。これは、固有値解析法では杭頭変位及び曲げ分布、p-δ法は地盤内での相対変位と、解析方法により着目する点が異なることによる。p-δ法による算出過程で示したとおり、地盤内応力は震度法、保耐法で仮定しているような単純な挙動を示さないため、杭 - 地盤の応答特性に応じた設計設定が必要と考える。

5. まとめ

今回実施した動的遠心模型実験により、本実験条件下において、杭基礎耐震挙動における静的と動的の地盤反力の対比に関し、以下の事項が明らかとなった。

- 1) 遠心力载荷装置を用いた加振実験により、砂質土地盤における地盤と杭の動的特性が概ね明らかとなった。
- 2) 動的水平地盤反力係数は、固有値解析法により $20,000\text{kN/m}^2$ 、p-δ法により $62,600\text{kN/m}^2$ と算定された。静的地盤反力係数 K_h との比率 α は、それぞれ 1.8, 5.7 となり、道示での補正係数とは必ずしも一致しない。

杭基礎耐震設計における地盤の動的水平地盤反力係数 K_{he} の適切な評価のためには、現行設計設定手法を踏まえた杭 - 地盤の応答特性に応じた設計設定が必要と考える。今後は、非線形特性も含め、杭変位レベルに応じた地盤種類別の動的特性について検証していく考えである。