

## 泥炭地盤における杭基礎の動的水平地盤反力係数に関する遠心模型実験

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 西本 聡  
 北海道開発土木研究所 正会員 富澤 幸一

### 1. はじめに

道路橋示方書(以下、道示)における耐震性能の照査方法において、地震時における杭基礎変形の影響は、一般に基礎の抵抗をあらわすバネを線形でモデル化して良いとされている。この動的水平地盤反力係数( $K_{hc}$ )は、震度法および地震時保有水平耐力法照査時には、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、震度法で2倍、保耐法で3倍と、比較的簡便に設定されている。しかし、地震時の杭の水平挙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、北海道に広く分布する泥炭地盤を対象として、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)のせん断土槽を用い、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)。模型地盤は乾燥カオリンおよび泥炭を用い造成した。模型杭として外径  $D=10\text{mm}$ 、肉厚  $t=0.2\text{mm}$ 、杭長  $L=400\text{mm}$ (実大で、 $D=500\text{mm}$ 、 $t=10\text{mm}$ 、 $L=20\text{m}$ )に加工した鋼製パイプを用意した。模型杭設置の際、杭先端は固定条件となるよう固定金具および石膏により固定した。杭体及び地盤の応力・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度計を設置した。

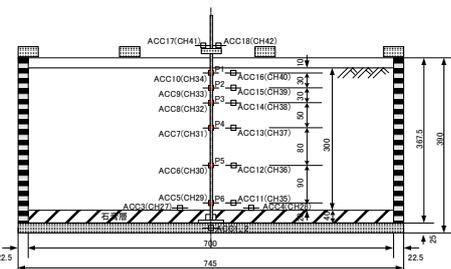


図-1 模型土槽概要図

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、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、橋梁下部工を想定した400g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、1G場における数値である。

### 3. 静的水平地盤反力係数 $K_h$ の算出

静的水平地盤反力係数  $K_h$  算出のため、杭の静的水平载荷試験を行った。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、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。

杭基礎を弾性梁として取扱い、Winklerのバネモデルによる骨組みモデルを用いて  $K_h$  を算出した。実験結果から得られた杭頭変位分布(図-2)および杭体応力分布(図-3)が解析結果とフィットするよう、離散バネの分布形状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( $K_h$ )はカオリン  $5,367\text{ kN/m}^2$ 、泥炭  $2,450\text{ kN/m}^2$  と算定された(図-4)。

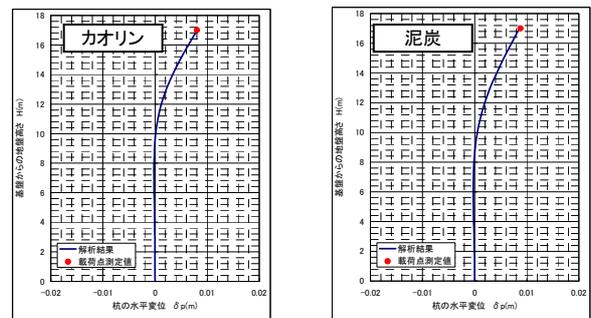


図-2 杭の水平変位分布

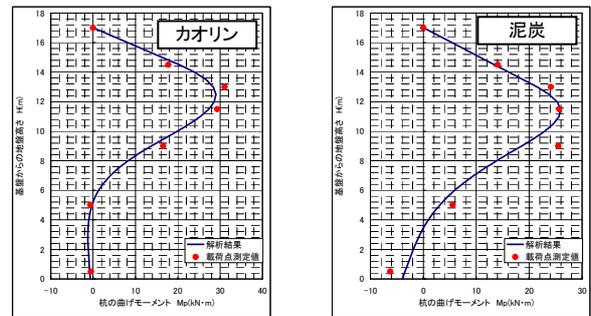


図-3 杭の曲げ分布

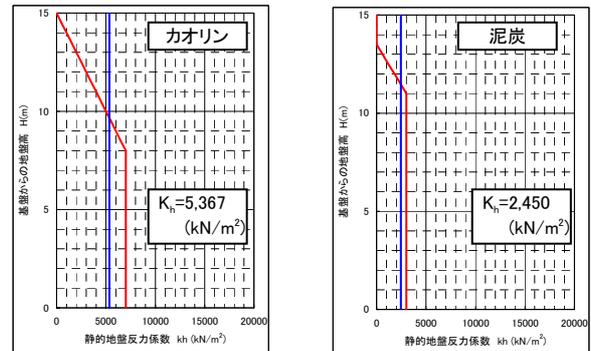


図-4 地盤反力係数分布

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  $K_{he}$  の算出

地盤と杭の相互作用による地盤反力係数  $K_{he}$  は、杭と地盤の間の相互作用力  $p$  と相対変位  $\delta$  を算出することで導出した。その際、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で解析を行った。

杭のひずみ分布から曲げモーメント分布を算出し、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。地盤内の変位を直接計測することが困難なことから、地盤の加速度を計測し2回積分して地盤変位を算出した。地盤反力係数分布は、各深度における  $p$ - $\delta$  曲線の関係から導いている。図-5はセンサー設置深度における  $p$ - $\delta$  の関係である。各深度における  $K_{he}$  の推定値を表-1に示す

5. 考察

図-5に示すとおり、地盤反力係数は深度方向で大きく変化しており、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。

また、杭の水平抵抗に大きく影響すると考えられる地盤面から3.5m程度の範囲で  $\alpha = K_{he}/K_h$  に着目すると、最大でも、カオリン： $\alpha=0.75$ 、泥炭： $\alpha=0.20$  となり、道示での補正係数とは必ずしも一致しない。

そのため、動的な地盤特性は、現行のように静的な特性から簡便に設定するのではなく、杭-地盤の応答特性に応じた設計設定が必要と考える。

泥炭地盤とカオリン地盤と比較すると、泥炭地盤の地震時の水平抵抗特性は極端に小さく、泥炭地盤における杭基礎の設計時には、上述のような応答特性を十分踏まえた設計を行う必要があると考えられる。

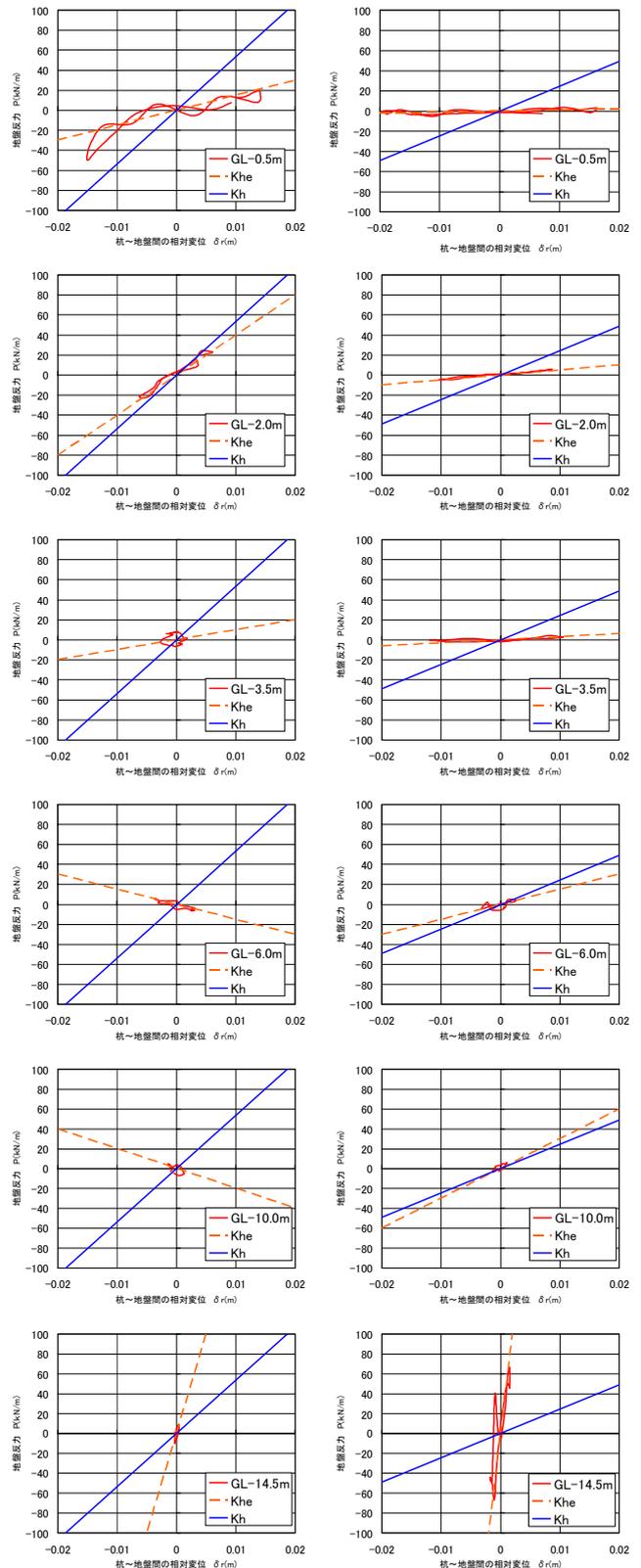
6. まとめ

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、カオリン地盤、泥炭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  $K_{he}$  は、最大値でカオリン  $4,000\text{kN/m}^2$ 、泥炭  $500\text{kN/m}^2$  と算定された。静的地盤反力係数  $K_h$  との比率  $\alpha$  は、それぞれ  $0.75$ 、 $0.20$  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、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。

【参考文献】1) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編：日本道路協会，2002.3 2) 小川篤生・緒方辰男：動的解析による耐震性の照査，基礎工，vol.25，No.3，1997 3) 大崎順彦：新地震動のスペクトル解析入門，1994.5 4) 杭の水平载荷試験方法・同解説：地盤工学会1983.10 5) 王海波・室野剛隆・西村昭彦：大型セン断土層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，土木学会論文集 2000.10



(カオリン地盤) (泥炭地盤)  
図-5 地盤反力と相対変位の関係

表-1 地盤反力係数推定結果

GLからの深度(m)	$K_h$	$K_{he}$ (カッコ内は $K_h$ との比率)					
		-0.5	-2.0	-3.5	-6.0	-10.0	-14.5
カオリン ( $\text{kN/m}^2$ )	5,367	1,500 (0.28)	4,000 (0.75)	1,000 (0.19)	-1,500 (-0.28)	-2,000 (-0.37)	20,000 (3.37)
泥炭 ( $\text{kN/m}^2$ )	2,450	100 (0.04)	500 (0.20)	300 (0.12)	1,500 (0.61)	3,000 (1.22)	50,000 (20.4)