

# 基礎形式・杭配置が建物と地盤の動的相互作用に及ぼす影響

名古屋大学 工学部 社会環境工学科  
建築学コース 福和研究室 彦坂智基

## 1. 研究の背景・目的

地盤に対して根入れのある基礎や杭基礎の場合、鉛直下方からの S 波入射に対し、水平方向の入力動が減少し、回転の入力が励起される。基礎が不整形である場合には、それらに加えてねじれ方向の入力が励起される可能性がある。例えば、大規模免震建物において、水平の入力に加えてねじれ方向の入力が作用すると、免震層端部の変形が過大となり、擁壁に建物が接触してしまう可能性がある。このため、不整形な形状の基礎や、異種基礎を用いる際には、その基礎に入射する地震動を正しく評価することが必要となる。

本論では、薄層要素法と有限要素法を、容積法を用いた動的サブストラクチャー法によって結合した手法を用いて、基礎形式・杭配置が建物と地盤の動的相互作用に及ぼす影響について解析的に考察を行う。なお、本梗概では紙面の都合上、不整形な形状の基礎として、三角形に配置された杭基礎の検討結果について述べる。

## 2. 三角形に配置された杭基礎の定性的傾向分析

基礎形状の不整形性の影響を検討するため、杭を三角形に配置した場合（以下三角形基礎）と、正方形に配置した場合（以下四角形基礎）の、杭頭のインピーダンス、基礎入力動を比較する。図 1 にモデルの概略図を、表 1 に解析に用いたパラメータを示す。この 2 つの基礎は、杭本数がほぼ同じで基礎底面積が同じになるように設定した。両基礎とも、その図心位置を評価点とする。解析結果を図 2 に示す。

インピーダンスは振動数依存の複素関数で、実部は地盤のばね抵抗を、虚部は主として地下逸散減衰による減衰抵抗を示す。図中では実部を太線、虚部を細線で表記する。インピーダンス  $K$  の下添字は、加振方向とそれに対する変位の方向を表し、例えば  $K_{16}$  は、1 の方向の力に対する 6 の方向の変位をもとに計算された地盤ばねの値である。数字と方向は図 3 に従う。また、基礎入力動は鉛直下方からの x 方向 S 波入射時の、自由地表面の応答 ( $U_g$ ) に対する基礎底面での水平 ( $U_1$ )、回転角 ( $\phi_6$ ) の応答比を示しており、回転角は基礎半幅  $B$  を乗じて、基礎端部での変位量としている。

図 2(f) より、三角形基礎は x 軸に対して非対称な杭の配置であるため、x 方向の水平入力に対してねじれの応答が励起されていることがわかる。また、回転方向のインピーダンスは、三角形基礎は y 軸に対して遠距離に杭が多数存在するため、四角形基礎に比べ値が大きい。これに対し、基礎入力動の水平方向はほとんど差が認められず、水平方向や上下方向のインピーダンスも、ほぼ同じ傾向を示している。

この結果から、三角形基礎でも四角形基礎とほぼ同等の入力機構であり、水平入力の数%ではあるが、ねじれ入力も励起されていることがわかった。

表1 杭・地盤の解析パラメータ

杭データ(共通)		三角形基礎
直径	$d=1.5\text{m}$	$2B=48\text{m}, 2C=24\text{m}$
杭長	$L=22\text{m}$	$s=6\text{m}, S=576\text{m}^2$
ヤング率	$E=2.1 \times 10^7 \text{kN/m}^2$	四角形基礎
密度	$\rho=2.4\text{t/m}^3$	$2B=2C=24\text{m}$
ポアソン比	$\nu=1/6$	$s=8\text{m}, S=576\text{m}^2$
減衰定数	$h=0.03$	
地盤データ ポアソン比 $\nu=0.45$ , 減衰定数 $h=0.03$		
表層地盤	$V_s=150\text{m/s}, \rho=1.5\text{t/m}^3$	層厚 $H=20\text{m}$
支持地盤	$V_s=300\text{m/s}, \rho=1.8\text{t/m}^3$	

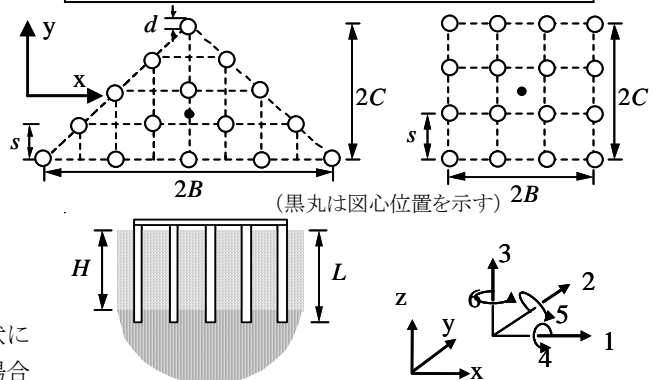


図1 解析モデルの概略図

図3 座標系と自由度

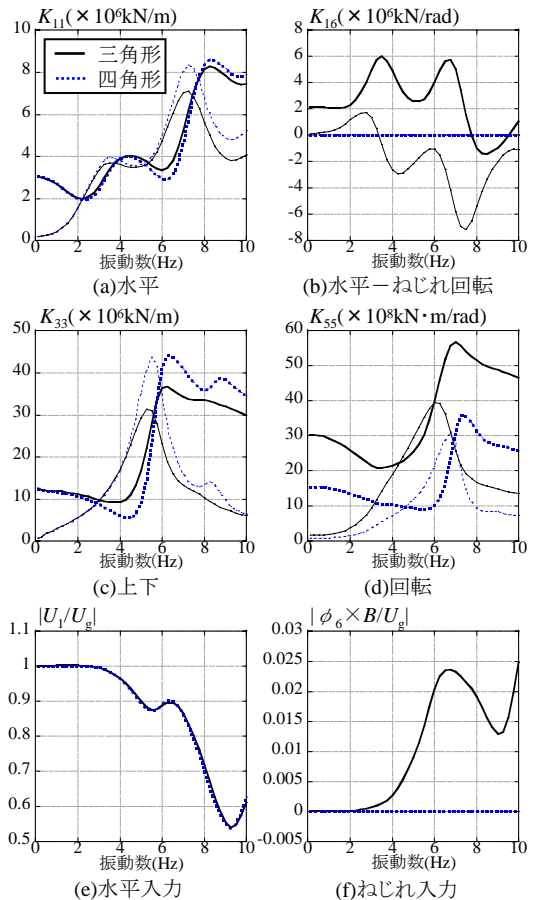


図2 三角形基礎と四角形基礎の比較

### 3. 三角形に配置された杭基礎の入力動に影響を及ぼす要因

三角形に配置された支持杭基礎に関して、入力地震動に影響を及ぼす諸要因について調べる。ここでは、表層地盤の S 波速度・厚さ、杭径、杭本数の値を個別に変更させ、その影響を比較検討する。表層地盤厚さ変更時は、その層厚  $H$  に合わせて、杭長  $L$  を  $L=H+2$  m としており、杭本数変更時は、杭間隔  $s$  を一定にして三角形を保ったまま、規模を増減させた。その他の解析パラメータは表 1 の三角形基礎と同値である。解析結果を図 4 に示す。図 4 の左側は水平入力動を、右側はねじれ入力動を示す。なお、回転入力動は図 4 には載せていないが、ねじれ入力動とほぼ同等の結果を示した。

図 4(a)より、表層地盤の S 波速度は、入力地震動の大きさや卓越振動数に影響し、地盤が軟らかいほど水平入力が増減し、一方でねじれ入力が大きくなる。また、卓越振動数の間隔は狭くなる。

図 4(b)より、表層地盤厚さが厚いほど卓越振動数の間隔は狭くなるが、その大きさは水平入力においてはあまり変化がなかった。

これに対し、杭径を変えて杭の剛性を変更させると、図 4(c)に示すように、杭径が大きくなるほど水平入力は低減し、ねじれ入力は増大した。以上の結果から、杭の単位長さ当たりの剛性と、地盤剛性との比によって、入力地震動の大きさが変わると考えられる。

また、杭本数を変えても水平入力大きさはほとんど変わらず、ねじれ入力も、基礎の規模の増大により、基礎端部における応答量も増えるため、杭本数によって入力地震動に大きな差が出ることはなかった。

上記の結果を受けて、図 5 に示すモデルで、四角形基礎でもねじれ入力動が励起されるかを検討してみた。case-1 では、径の異なる 2 つの杭 P1( $d=1$ m)、P2( $d=2$ m)を併用している。case-2 は P2 の杭と鉛直支持力を等しくするため、断面積が等価になるよう、P2 の杭の代わりに P1 の杭を 4 本配置した。case-1 と case-2 で地盤条件は同一とする。比較結果を図 6 に示す。

図 6 より、水平入力は case-1 の方が小さく、ねじれ入力は case-1 の方が大きいという結果が示された。実際に同じ建物の基礎で、異なる杭径のものを併用する事例は良くある。例えば病院において、病棟部は高層にし、診療部は平屋建てで繋がっている場合、病棟部は診療部に比べ荷重が大きいため、それを支える杭の径を大きくして支持力を増大させようとする場合がある。そのような場合には、本検討における case-1 の結果と同様に、ねじれ入力が励起されてしまうことになる。これを防ぐためには case-2 のように、大きな鉛直支持力を必要とする箇所には同じ径の杭を多数使用することにより、ねじれ入力を軽減させることができると考えられる。

### 4. まとめ

三角形に配置された杭基礎の動的相互作用効果を分析した結果、基礎入力動の大きさには、地盤に対する杭の単位長さ当たりの剛性が影響し、杭本数はあまり影響を及ぼさないことが分かった。そして、径の異なる杭を併用する際には、ねじれ入力が励起されることがあり、同径の杭を多数使用することによりねじれ入力を減少させることはできることが分かった。ただし、群杭効果による支持力の低下なども同時に考慮することが必要である。

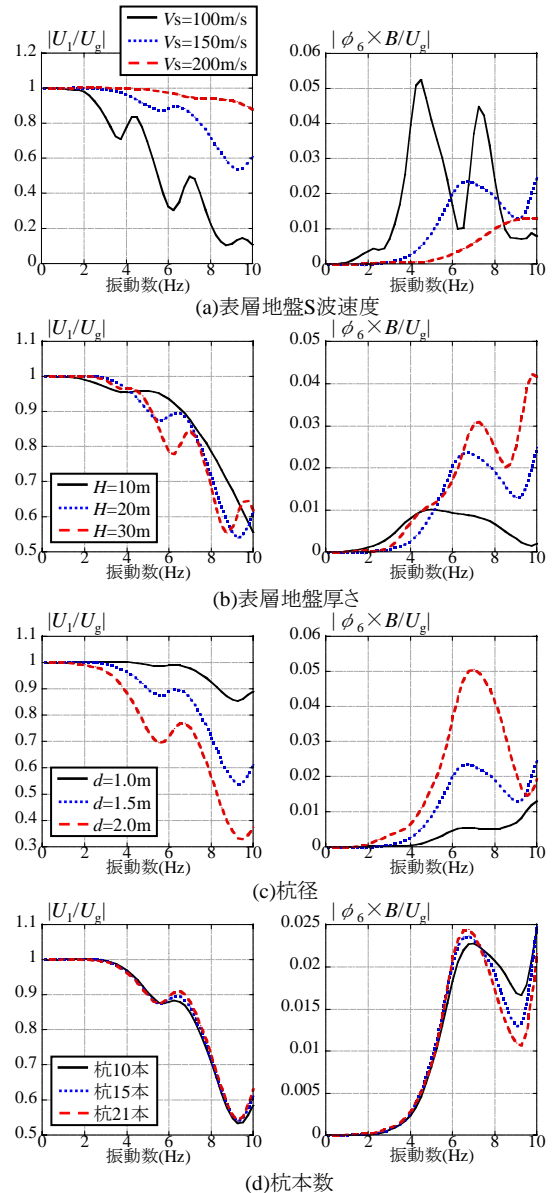


図4 各種要因が三角形基礎の入力動に及ぼす影響

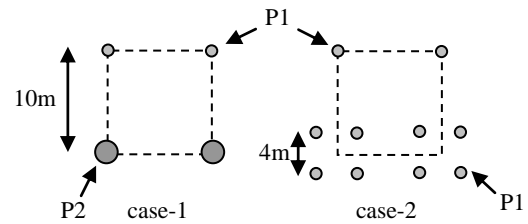


図5 杭併用による比較モデル

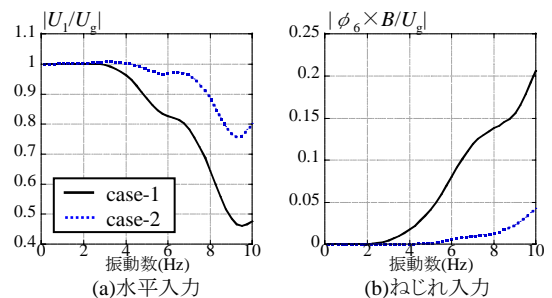


図6 杭併用による比較図