

京都大学工学部

学生員 ○藤井 豊

京都大学大学院工学研究科

正会員 小野祐輔

京都大学大学院工学研究科

正会員 清野純史

1. はじめに

基礎杭は上部構造物の慣性力だけでなく、地盤の変形によっても破壊することが知られている¹⁾。本研究では、杭中にフレキシブルなジョイントを挿入することで地盤の変形に対しても追従できるように変形性能を高めた杭を高変形性能杭と呼ぶことにする。この高変形性能杭を用いることで上部構造物の応答が変化し、地盤-杭基礎-上部構造物系における地震時のエネルギー配分も変化すると予想される。この時、地盤と杭基礎の相互作用によって消費されるエネルギーを増大できれば上部構造物が受けるエネルギーが低下し、系全体としての耐震性能を増すことができる。本研究は地震時における上部構造物の応答及び全体系での地震エネルギーの配分を検討することにより、高変形性能杭を用いた構造物全体系の耐震性能が向上することを示すことを目的としている。

2. 解析手法とエネルギー構成式

本研究では二次元有限要素法(以下二次元 FEM) 解析コード 7S-II²⁾ を用いた。地盤の材料非線形性には弾-完全塑性モデルを用い、Mohr-Coulomb の破壊基準を用いた。多自由度系の運動方程式は次式で表される。

$$[M]\{\ddot{\mathbf{x}}\} + [C]\{\dot{\mathbf{x}}\} + [K]\{\mathbf{x}\} = -[M]\{\mathbf{1}\}\ddot{\phi} \quad (1)$$

ここに、 $[M]$ 、 $[K]$ 、 $[C]$ はそれぞれ質量、剛性、減衰マトリクス、 $\ddot{\phi}$ は入力加速度である。次に式(1)の両辺に $\{\dot{\mathbf{x}}\}^T$ ベクトルをかけ時間積分したものがエネルギー構成式となり、次式で表される。

$$\int_0^t \{\dot{\mathbf{x}}\}^T [M] \{\ddot{\mathbf{x}}\} d\tau + \int_0^t \{\dot{\mathbf{x}}\}^T [C] \{\dot{\mathbf{x}}\} d\tau + \int_0^t \{\dot{\mathbf{x}}\}^T [K] \{\mathbf{x}\} d\tau = - \int_0^t \{\dot{\mathbf{x}}\}^T [M] \{\mathbf{1}\} \ddot{\phi} d\tau \quad (2)$$

ここで右辺は総エネルギー入力 $E(t)$ 、左辺第一項は運動エネルギー $W_k(t)$ 、左辺第二項は減衰消費エネルギー $W_h(t)$ 、左辺第三項はひずみエネルギー $W_s(t)$ である。

3. 解析モデル

本研究で用いた解析モデルを図-1に示す。解析モデルは地盤、杭、上部構造物、フーチングで構成されており、上部構造物は集中質量と梁要素、杭とフーチングは梁要素、ジョイントは線形回転ばね要素でモデル化した。解析対象地盤は三層で構成され、地盤の特性値を求めると0.28秒であり、道路橋示方書³⁾に従うとII種地盤に相当する。ただし、この値は微小変形時における地盤の線形状態を仮定した場合の固有周期にあたるものである。実際の地盤の固有周期 T_g は非線形地盤を対象としているためこの値よりも大きくなり、case1-0 から case1-3 までは上部構造物の固有周期 T_s を T_g よりも長い1.0秒、case2-0 から case2-3 までは T_s を T_g よりも短い0.15秒と設定した。case1-0、case2-0 はジョイント無し、case1-1、case2-1 は上部地層境界のみ、case1-2、case2-2 はフーチング直下のみ、case1-3、case2-3 は上部地層境界とフーチング直下にジョイントを挿入したモデルである。

表 1: 解析ケース

$T_s(\text{sec})$	ジョイント無し	地層境界
1.0	case1-0	case1-1
0.15	case2-0	case2-1
$T_s(\text{sec})$	フーチング直下	地層境界とフーチング直下
1.0	case1-2	case1-3
0.15	case2-2	case2-3

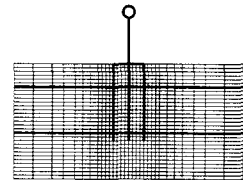
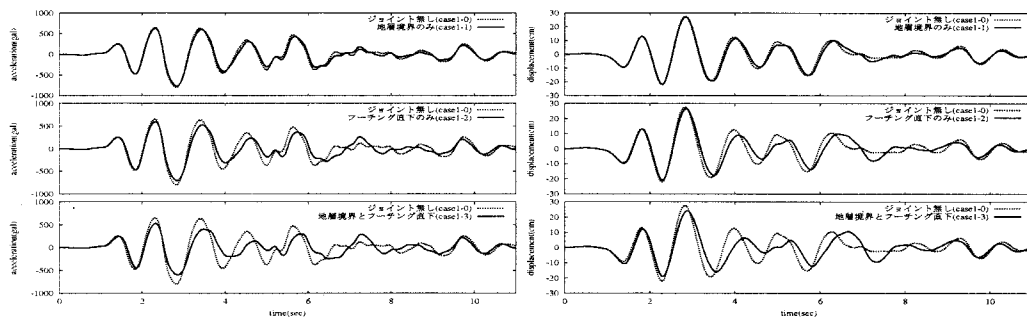


図 1: 解析モデル

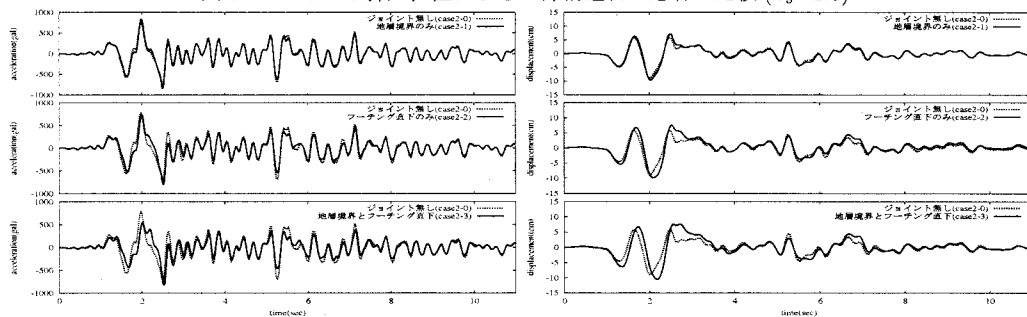
4. 解析結果

二次元 FEM による地震応答解析の結果を図-2、図-3に示す。図-2より、上部構造物の固有周期が1.0秒の場合はジョイントを地層境界よりもフーチング直下に挿入した方が加速度、変位の応答を大きく低減していることが分かる。また地層境界及びフーチング直下の両箇所に挿入することでより応答が低減されている

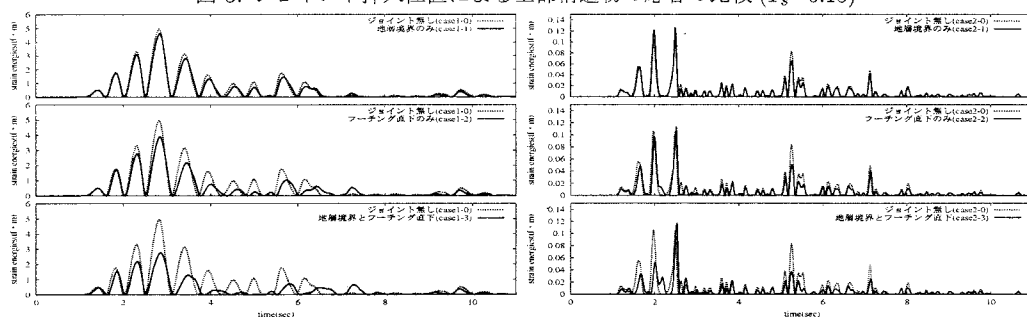
ことが分かる。また、図-3より、上部構造物の固有周期が0.15秒の場合はジョイントを挿入することにより加速度、変位とも最大応答値を大きくしていることが分かる。次に上部構造物のひずみエネルギー時刻歴を図-4に示す。図-4の(a)の $T_g=1.0$ の場合、ジョイントの挿入位置が地層境界とフーチング直下ではフーチング直下の方が構造物のひずみエネルギーの低減効果が大きく、さらに両箇所に挿入することでより低減していることが分かる。また、図-4の(b)の $T_g=0.15$ の場合、ジョイントを挿入することで上部構造物のひずみエネルギーに増大が見られた。



(a) 加速度応答 (b) 変位応答
図 2: ジョイント挿入位置による上部構造物の応答の比較 ($T_g=1.0$)



(a) 加速度応答 (b) 変位応答
図 3: ジョイント挿入位置による上部構造物の応答の比較 ($T_g=0.15$)



(a) $T_g=1.0$ (b) $T_g=0.15$
図 4: ジョイント挿入位置による上部構造物ひずみエネルギーの比較

5. まとめ

(1) $T_g > T_g$ の時、ジョイントを挿入することにより上部構造物の応答が小さくなり、上部構造物のひずみエネルギーが低減される。また、ジョイントの挿入位置によって上部構造物に及ぼす影響が異なり、地層境界よりも構造物に近いフーチング直下の方が低減効果が大きい。さらに両箇所にジョイントを用いた場合に最も大きな低減効果を発揮する。

(2) $T_g < T_g$ の時には、ジョイントを挿入することにより上部構造物の応答が大きくなり、上部構造物のひずみエネルギーも増大する。

参考文献: 1) 堀越研一・立石章・大津宏康: 上部工の存在しない状態で被災した杭の損傷調査結果、杭基礎の耐震設計法に関するシンポジウム論文集・報告書、土木学会地震工学委員会杭基礎耐震設計研究小委員会、pp.60-66、2001.9

2) 土岐憲三・三浦房紀: 地盤-構造物系の非線形地震応答解析、土木学会論文報告集、No.317、pp.61-68、1982

3) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説、V 耐震設計編、日本道路協会、1990.2