

(III-77) 地震時に杭周辺地盤で発生する隙間が構造物の応答特性に与える影響

武蔵工業大学 学○伊藤和也 正 片田敏行
武蔵工業大学 正 末政直晃 正 目黒栄治

1. はじめに

地震時の軟弱地盤は地震動のレベルが増長するような挙動が起き、そこに建設されている杭基礎を有する構造物の応答は大きくなり、地表面付近の地盤と杭との間に隙間が生じやすくなることが考えられる。

本研究では、地盤反力～杭変位関係に非線形性を示す地盤反力モデルを用いた地盤～杭～構造物系の地震応答解析を行い、構造物に与える影響について検討する。今回は特に、地震時に杭頭部付近に発生する隙間が構造物に与える影響について考察したので報告する。

2. 解析方法

(1) 地盤反力バネの履歴規則

金丸ら¹⁾は弾塑性解の一つである円筒押し抜け理論（以下、CEM）を用いて地盤反力～杭変位関係を定式化した。CEMを用いた地盤反力バネの大きな特徴は杭の前面と背面を区別して考えることである。このことにより、杭背面に発生する隙間や付着を表現できるようになっている。表-1に解析式をまとめたものを示す。本研究では杭と地盤の間に発生する隙間を考慮したモデル（以下、隙間モデル）と杭と地盤が付着するモデル（以下、付着モデル）を用いて解析を行った。応力履歴を図-1（付着モデル）、図-2（隙間モデル）にそれぞれ示す。

(2) 解析モデル

地盤～杭～構造物系の解析モデルとしてバネ質点系モデルを用いた。その相互作用バネ部にCEMによる地盤反力バネモデル（表-1参照）を採用した。解析条件を表-2に示す。ここで、質点数は33質点（地盤部分0.5m間隔32質点、構造物1質点）とした。解析に用いた数値積分法はWilson θ 法（ $\theta=1.4$ ）で、時間刻み $\Delta t=0.01$ 秒である。本解析では隙間が生じる地盤反力モデルの特徴を捉えることを目的としているため、地盤反力バネ部は非線形であるが、杭体は線形として解析を行っている。

解析に用いた入力波は、図-3に示すように2秒付近で最大値を示し、その後緩やかに低減する正弦波で、ケースごとに周波数(1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 5.0Hz)と最大入力加速度(50, 100, 150, 200, 300gal)を変化させた。

表-1 円筒押し抜け理論による地盤反力バネの解析式¹⁾

		解析式
円筒押し抜け及び円筒収縮	弾性域	$\psi = \sigma_{h0} \pm 2G \frac{\xi}{R_0 \pm \xi}$
	塑性域	$\psi = \sigma_{h0} \pm cu \left[1 + \ln \left\{ \frac{R_0 / (R_0 \pm \xi)}{\exp(\mp 1/ir) - 1} \right\} \right]$
符号の上段は円筒押し抜け、下段は円筒収縮		
円筒押し抜け～収縮過程	弾性域	$\psi = \psi_1 + 2G \frac{\mp (R_1 - \xi)}{R_0 \pm \xi}$
	塑性域	$\psi = \psi_1 + 2cu \left[1 - \frac{1}{ir} + \ln \left\{ \frac{R_1 / (R_0 \pm \xi) - (R_0 \pm \xi) / R_1}{\exp(\mp 2/ir) - 1} \right\} \right]$
円筒収縮～押し抜け過程	弾性域	$\psi = \psi_1 \pm 2G \frac{R_1 - \xi}{R_0 \pm \xi}$
	塑性域	$\psi = \psi_1 - 2cu \left[1 + \frac{1}{ir} + \ln \left\{ \frac{R_1 / (R_0 \pm \xi) - (R_0 \pm \xi) / R_1}{\exp(2/ir) - 1} \right\} \right]$
符号の上段は杭右側、下段は杭左側		

記号 c_u : 非排水せん断強度 σ_{h0} : 初期拘束圧 G : せん断弾性係数
 ξ : 杭の変位 I_r : G/c_u R_0 : 杭径
 ψ_1 : 反転時の杭土圧 R_1 : 反転時の円筒土圧

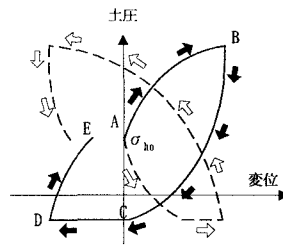


図-1 付着モデル

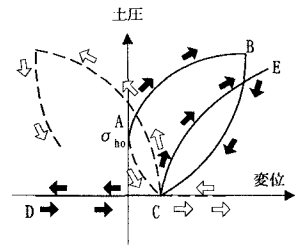


図-2 隙間モデル

表-2 解析条件

杭	上部構造物重量(MN)	1
	杭径(m)	1.0
	杭単位体積重量 ρ_p (g/cm ³)	2.4
	弾性係数E(Mpa)	2.1×10^3
地盤	地盤単位堆積重量 ρ_s (g/cm ³)	1.6
	非排水せん断強度 c_u (kPa)	22.05
	層厚(m)	16.0

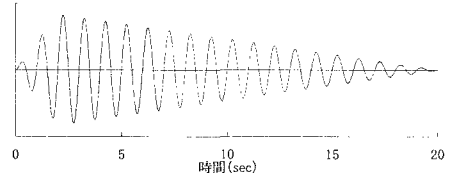


図-3 入力波形(例: 1.0Hz)

キーワード: 杭基礎、地盤反力バネ、軟弱地盤、円筒押し抜け理論、地震応答、粘性土

連絡先: 武蔵工業大学 地盤工学研究室 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL&FAX03-5707-2202

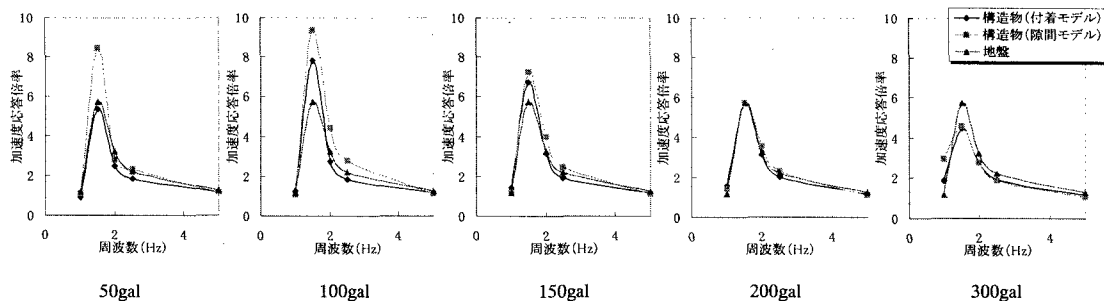
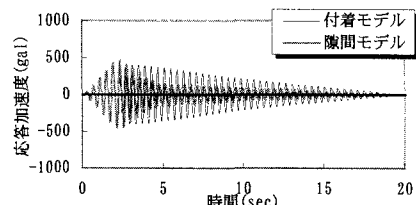


図-4 周波数～加速度応答率関係

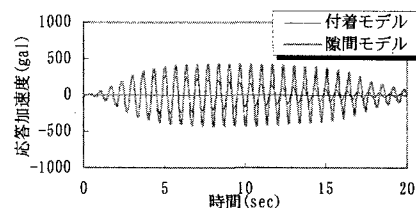
3. 解析結果及び考察

各入力加速度での周波数～加速度応答率関係を図-4に示す。ここで加速度応答率とは、構造物の応答加速度の最大値を入力加速度の最大値で除した値である。全ての入力加速度において地盤および構造物ともに、周波数 1.5Hz でピーク値を示している。つまり、地盤の固有周波数と杭～構造物系の固有周波数が 1.5Hz で一致し共振しているため、周波数 1.5Hz での応答結果は非常に大きな加速度応答率が得られた事を示唆している。

次に 2 種類の解析条件の応答加速度波形を地盤反力パネの違いに着目して図-5に示す。まず、図-5(a)に周波数 2.5Hz, 200gal での結果を示す。付着モデルの応答結果の形状は入力加速度のそれと似ている。それに対して、隙間モデルでは最大加速度となった地点を超えると急激に応答が低下し、付着モデルの応答加速度の半分程度となるような形状となった。次に、図-5(b)に共振を起こしている周波数 1.5Hz, 50gal の結果を示す。先のケースと同様に付着モデルの応答加速度波形は入力加速度と似た形状となっている。しかし、隙間モデルでは 5 秒～15 秒までほぼ等振幅な挙動を示し、先のケースや入力加速度の結果とも異なる形状となった。この様に、隙間が発生し進展する過程に原因があると考えられる。そこで、図-5で示した 2 種類の条件の隙間モデルの応答変位と杭頭部における隙間発生量を図-6に示す。まず、周波数 2.5Hz, 200gal の結果では 2 秒付近で隙間が発生し、隙間が進展していく過程で応答変位が最大となる。その後、最大値を示した応答変位は急激に低下し、隙間の進展が終了する 5 秒付近からは応答変位の低下は緩やかなものとなった(図-6(a))。次に、共振した周波数 1.5Hz, 50gal の結果では、2.5 秒付近で隙間が発生し約 17 秒まで隙間の進展が続いた。先のケースでは隙間の進展中に応答変位が急激に低下したが、このケースでは隙間の進展が終了する付近で緩やかに低下する程度である。また、隙間の進展が終了しても、その低下の度合いは変わらなかった(図-6(b))。つまり、隙間モデルを用いた場合の応答は、隙間進展と入力波形が互いに拡大する場合に大きな応答が発生するものと考えられる。

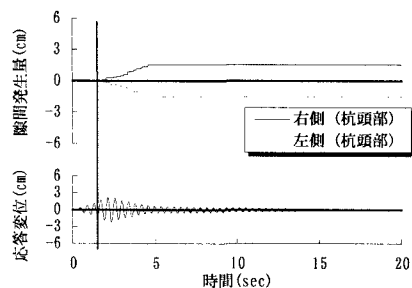


(a)周波数 2.5Hz, 200gal

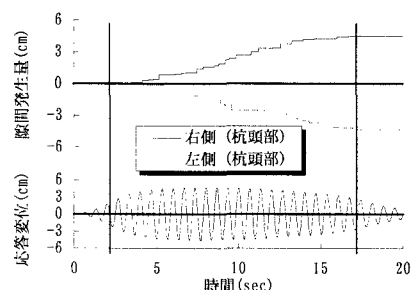


(b)周波数 1.5Hz, 50gal

図-5 応答加速度結果



(a)周波数 2.5Hz, 200gal



(b)周波数 1.5Hz, 50gal

図-6 構造物応答変位～隙間発生量関係

4. まとめ

本研究では、地盤反力パネに杭と地盤の間に隙間が発生するモデルと発生しないモデルの 2 種類を用いて地震応答解析を行った。その結果、隙間の発生やその進展が構造物の応答に大きな影響を与えることが分かった。しかし、これは本研究の範囲内での知見であるため、様々な条件のもと解析を行い、定量的な判断を下す必要性がある。

〈参考文献〉1)金丸裕秀ら:軟弱な粘土地盤中の杭の地盤反力特性(その 2 -定式化-)、第 33 回地盤工学研究発表会講演集, pp.1509-1510, 1998