

I-432

地中構造物の3次元非線形地震応答挙動

大成建設（株） 正会員 美齊津宏史
 埼玉大学工学部 正会員 渡辺 啓行
 神奈川県 正会員 五十嵐 敬

1. 目的

地中と構造物の相互作用現象はその複雑な挙動故に未解明な点も少なくない。強震時において、周辺地盤が材料非線形性を伴う場合、ならびに地盤・構造物間の不連続面における剥離と滑動現象が動的相互作用を一層複雑なものとしている。従って、解析においてはこれらの特性を考慮する必要がある。さらに、地中構造物の地震時応答挙動は地盤の相互作用を考慮して2次元FEM解析を行うことが多い。しかしながら、この方法では連成系の3次元挙動を把握するのは困難である。そこで本研究では、地中構造物の3次元地震応答挙動特性の把握を目的として、模型振動実験と3次元FEM解析を併せて行った。

2. 実験方法

模型振動実験は、地盤と地中構造物の基本的な振動特性の把握を目的として、地中構造物—地盤連成系模型（直接基礎及び杭基礎）の水平方向正弦波による共振振動実験とした。具体的には埋設構造物として実構造物（1連ボックスカルバート）の縮尺1/40モデルを作成し、構造物の剛性の影響を検討するために板厚を1/2とした模型も併せて作成した。

実験は自由地盤の他に模型実験の基礎状態（直接基礎、杭基礎）、板厚及び加振方向を変えた計7ケースとし、地盤加速度（水平方向加振、鉛直方向）及び構造物の加速度（水平加振方向）、構造物に作用する動的増分土圧、構造物の曲げひずみを測定した。

3. 実験結果及び考察

①地盤を水平方向に加振すると、ある振動数から突然、水平振動の2倍の振動数を持った上下動が発生し、この現象は地盤のダイランシー特性により定性的に説明できる。即ち、せん断ひずみが大きくなると体積変化を生ずるようになり、水平動と共に上下動が発生する。この上下動の水平成分が地盤及び埋設構造物にも動土圧を発生させる（図1）。

②直接基礎構造物の剛性が小さくなると側壁の曲げひずみも小さくなり、逆に側壁に作用する動的増分土圧は増大する（図2）。これは構造物の上板に作用する地盤のせん断力を構造物の剛性の大小に従って支持する程度が異なるためである。

③杭基礎構造物は直接基礎構造物と比較して、周辺地盤の応答挙動の水平成分よりもむしろ鉛直成分を抑制する（図3）と共に、構造物下部の曲げ剛性を増大させる。

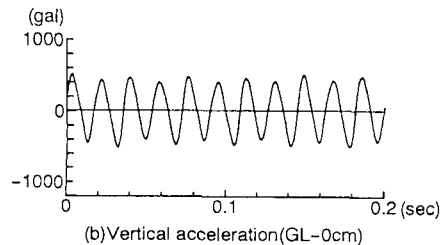
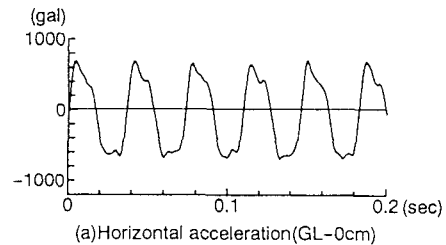


図1 加速度応答波形（200gal, 27Hz）

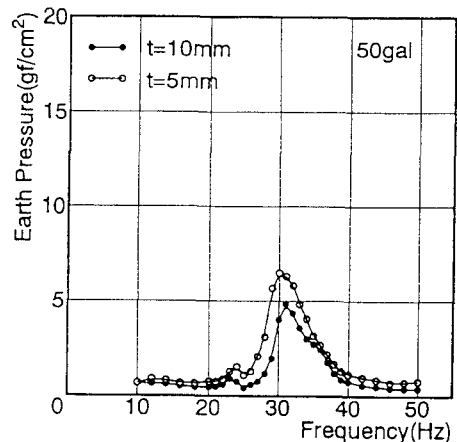


図2 模型の剛性の差異による影響
 （構造物側壁に作用する動的増分土圧）

4. 解析方法

解析においては模型振動実験の再現を目的とし、まず3次元アイソパラメトリック要素により離散化された地盤の挙動が自由地盤と一致するように、境界条件として仮想仕事の原理に基づく三浦の粘性境界を用いて、その妥当性も併せて検証した。

ついで、実験における模型構造物－地盤系と同一縮尺モデルを、地盤を3次元アイソパラメトリック要素、地中構造物をシェル要素で離散化し（図4）、地盤と埋設構造物との接触部分には3次元ジョイント要素を導入した。基盤入力は模型振動実験の場合と同様に正弦波50gal, 200galとした。また、境界部分には粘性境界を用いて半無限地盤を再現した。地盤は等価線形化法により非線形を考慮し、埋設構造物は線形とした。ジョイント要素は50gal加振の場合は線形、200gal加振の場合は非線形（滑動、剥離を考慮）とした。運動方程式の積分には線形加速度法、ジョイント要素の非線形解析には荷重伝達法を用いた。

5. 解析結果及び考察

- ① 3次元有限要素解析において自由地盤を再現するため、仮想仕事の原理に基づく三浦の粘性境界を用い、併せてその妥当性が確認された。
- ② 模型構造物－地盤系において等価線形解析（強震時において不連続面での滑動、剥離を考慮）を行い、地盤固有振動数、加振方向の応答加速度については模型振動実験を再現することができた（表1）。
- ③ 本解析手法においては、実験で観測されたダイレタンシーに伴う鉛直振動は考慮することができず、模型振動実験を正確に再現するためには塑性流れを考慮した弾塑性論に基づく応答解析を行う必要がある。
- ④ 今後、杭基礎構造物についても解析モデルを開発し、その妥当性を検証する必要があると思われる。

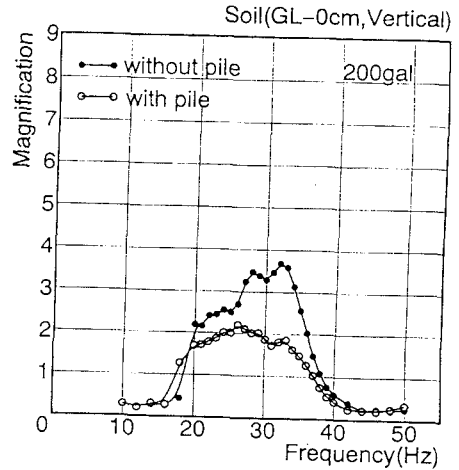


図3 直接基礎と杭基礎との比較

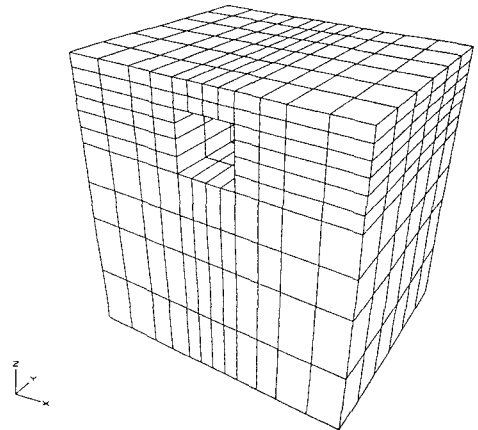


図4 要素分割図（構造物－地盤系）

表1 実験値と解析値との比較（直接基礎）

	固有振動数	
	50 gal	200 gal
実験値	3.0 Hz	2.0 Hz
解析値	32.8 Hz	24.7 Hz

	加振方向加速度応答倍率	
	50 gal	200 gal
実験値	7～8	3
解析値	7	3.5