

复合地基对场地地震反应的影响

高艳平, 李恺靖, 戴 军

(中冶集团建筑研究总院, 北京 100088)

摘 要: 复合地基在我国土木工程领域应用广泛。这类场地的地震反应如何呢? 这对于结构设计的地震动输入是一个重要的问题。本文使用二维有限元分析程序——FLUSH, 计算不同输入波和不同置换率情况下的地表加速度峰值和加速度反应谱, 并围绕置换率对场地地震反应的影响进行了分析讨论。

关 键 词: 置换率; 输入波; 地震反应; FLUSH

中图分类号: T472 **文献标识码:** A

Effects of composite foundation on site seismic response

GAO Yan-ping, LI Kai-jing, DAI Jun

(Central Research Institute of Building and Construction, MCC Group, Beijing 100088, China)

Abstract: In China, composite foundation has been widely used in civil engineering. What is the seismic response of this type of site? This is an important issue as to the input earthquake motion for structure design. By using the two-dimensional finite element program-FLUSH, the ground surface peak acceleration and acceleration response spectra of different replacement ratios under different ground motion inputs are calculated. The influences of replacement ratio on seismic response are studied; and some valuable results are obtained.

Key words: replacement ratio; input motion; seismic response; FLUSH

1 引 言

场地条件对震害有着重要影响, 这一事实已被广泛认同。为了考虑不同场地条件对地震反应的影响, 通常的做法是在总结以往经验的基础上将场地划分成若干类, 然后按场地类别分类对现有的强震记录进行统计得到地震动反应谱及衰减规律。

软土场地在我国分布很广, 因为其承载力一般很低, 所以在将其作为建筑物地基时, 一般都需要对其进行处理。目前采用复合地基方式处理此类场地的情况越来越多。在这种情况下, 场地条件已不能笼统地概括。历次地震震后调查也表明, 桩基场地的结构破坏比同类未经处理场地的结构破坏要轻得多。这说明打桩处理过后的场地地震反应与未处理过的同类场地地震反应有明显的区别, 因此有必要对桩基场地进行地震反应分析, 总结此类场地的地震反应规律。

本文采用直接的理论分析方法, 结合典型工程

场地计算模型, 通过对场地地表地震反应结果的计算, 对比不同输入波作用下置换率的不同对桩基场地地震反应的影响, 从而分析桩基场地的地震反应情况, 为设计和施工提供参考。

2 计算方法

本文采用 FLUSH 程序进行计算。FLUSH 是由美国加州大学 Berkeley 分校的 Lysmer 等人^[1]编写的有限元程序。不仅能计算土层地震反应, 而且能够考虑土与结构相互作用地震反应分析, 这个程序有以下特点: 采用粘弹性模式, 利用复反应求解; 采用等效线性法模拟土的非线性应力应变关系; 提供了平面应变四边形实体单元, 梁单元、空单元等计算单元形式, 以便于对土和结构模型简化; 引入粘滞边界, 因此可以完成拟三维计算; 引入传递边界, 大大减少了土与结构相互作用分析中有限单元的数目; 可以单独进行自由场计算, 包括反演; 输入运动可以是水平的, 也可以是竖直的。

3 计算参数的确定

3.1 计算剖面的确定

FLUSH 是平面应变问题的二维有限元程序, 所以对于三维结构的分析必须先进行简化。对于一般的桩基场地, 其土体和加固区都用实体单元进行模拟。根据工程资料, 场地的加固深度为 6 m, 加固宽度为 80 m。为减少单元数目, 在计算模型两侧设置传递边界。土层模型, 以及单元的划分和加固的部位 (图中粗线所围的部分) 如图 1 所示:

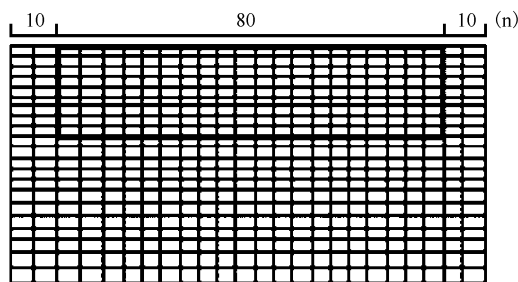


图 1 土层模型及有限元划分

Fig.1 Model of soil layers and finite elements

3.2 土层力学参数的确定

通过动三轴试验及参考现有地质勘察资料, 用于计算的土层力学参数见表 1。

表 1 土层力学参数

Table 1 Mechanical parameters of soil layers

层号	土类号	土类型	密度 $\rho/(\text{t/m}^3)$	波速 $V_s/(\text{m/s})$	土层厚度 h/m
1	1	粘土	1.93	120	2
2	1	粘土	1.93	120	2
3	1	粉砂质粘土	1.89	160	2.5
4	2	粉砂质粘土	1.99	200	2
5	2	粉砂质粘土	1.99	200	2
6	2	粉砂质粘土	1.99	200	2
7	2	粉砂质粘土	1.99	200	2
8	3	砂粘土	2.00	180	2.3
9	3	砂粘土	2.00	180	2.3
10	3	砂粘土	2.00	180	2.3
11	3	砂粘土	2.00	180	2.3
12	9	粉砂	2.07	300	2.3
13	4	粉砂	2.07	300	2.2
14	3	砂粘土	2.01	260	2.6
15	3	砂粘土	2.01	260	2.6
16	3	砂粘土	1.96	400	2.5
17	3	砂粘土	2.10	220	2.6
18	3	砂粘土	2.10	220	2.6
19	4	粉砂	2.04	280	2.7
20	3	砂粘土	2.00	240	3.2
21	3	砂粘土	2.00	240	3.2

目前对土的应力应变关系有多种处理方法, 但实际工作中采用最多的是“等效线性模型”。这一方法的特点是只用两个随应变而变的参数, 即以等效剪切模量和等效滞回阻尼比来反应周期荷载下土体的应力应变特性, 而不建立应力应变关系的表达式。本文采用由谢君斐 (1988 年) 给出的各类土动剪切模量比和阻尼比随剪应变的变化规律进行计算。

3.3 加固区考虑

任何材料的容重和泊松比都与其本身的刚度有关。一般刚度用剪切模量表示, 所以如果桩的剪切模量、重度和泊松比分别用 G_1 、 γ_1 和 μ_1 示, 土的这些值用 G_2 、 γ_2 和 μ_2 表示, 置换率用 ξ 表示, 则加固区的土层剪切模量、重度和泊松比分别为

$$G = G_1\xi + G_2(1 - \xi) \quad (1)$$

$$\gamma = \gamma_1\xi + \gamma_2(1 - \xi) \quad (2)$$

$$\mu = \mu_1\xi + \mu_2(1 - \xi) \quad (3)$$

在计算中桩的剪切波速采用 360 m/s, 重度采用 2.1 t/m³, 泊松比采用 0.32。

对于加固区土的剪切模量和阻尼比随剪应变变化的曲线, 采取与上述模量等类似的方法进行处理, 即将被置换土的各参数与水泥土的各参数利用置换率进行复合, 作为加固区的土体单元的参数。不同置换率下加固区土层力学参数见表 2。

3.4 输入的地震的确定

为了考虑不同输入波对土层地震反应的影响, 本文利用《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001) 的加速度反应谱作为目标谱来拟和人工地震波, 将其通过自由场计算反演到基底, 得到用于计算的人工地震波。另外, 亦选择了 EI Centrol 波和迁安波作为输入波进行对比分析。

4 结果分析

场地表面各节点的加速度峰值和各区域反应谱随置换率的变化如图 2~12 所示。从图中可以看出地面各节点加速度峰值的变化情况。在加固区外, 其加速度比加固区大。随着置换率的增大, 加固区的地表加速度峰值减小。这是由于置换率的增大导致加固区土体模量的增大, 进而引起场地地震反应的变化。从图中还可以看出, 由于加固导致了加固区加速度反应谱峰值的减小, 但对反应谱的卓越周期几乎没有影响。

表 2 不同置换率下加固区土层力学参数
Table 2 Mechanical parameters of soil layers

置换率/%	土层一			土层二			土层三		
	μ	$\gamma / (\text{kN/m}^3)$	G / kPa	μ	$\gamma / (\text{kN/m}^3)$	G / kPa	μ	$\gamma / (\text{kN/m}^3)$	G / kPa
10	0.464	19.470	52228	0.464	19.110	70761	0.464	20.010	98856
15	0.456	19.555	64447	0.456	19.215	81950	0.456	20.006	108494
20	0.448	19.640	76665	0.448	19.320	93139	0.448	20.012	118112
25	0.44	19.725	88884	0.440	19.425	104328	0.440	20.012	127740
30	0.432	19.810	101102	0.432	19.530	115516	0.432	20.023	137368

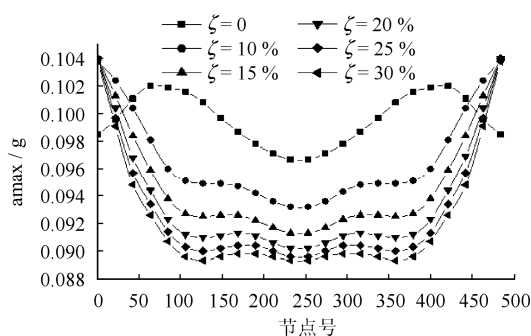


图 2 地面各节点加速度峰值 (人工地震波)
Fig.2 Peak accelerations of surface nodes (artificial seismic wave)

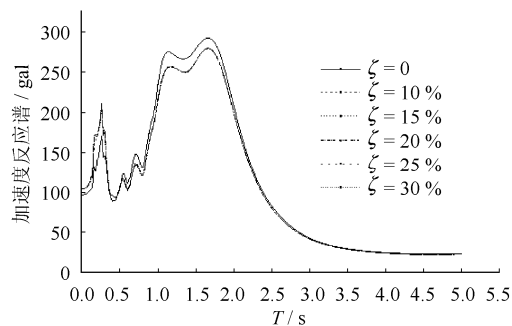


图 3 未加固区加速度反应谱 (人工地震波)
Fig.3 Acceleration response spectra of surface nodes in non-reinforced area (artificial seismic wave)

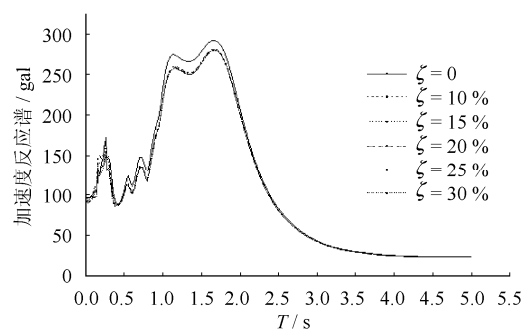


图 4 加固区边缘加速度反应谱 (人工地震波)
Fig.4 Acceleration response spectra of surface nodes at the edge of reinforced area (artificial seismic wave)

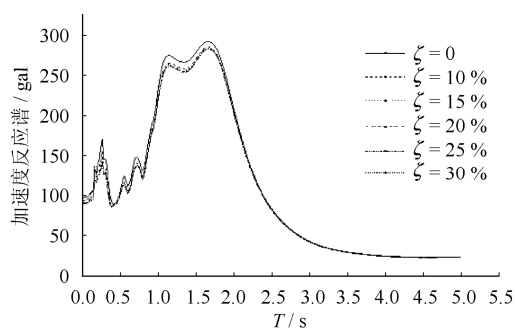


图 5 加固区中点加速度反应谱 (人工地震波)
Fig.5 Acceleration response spectra of surface nodes at the central point in reinforced area (artificial seismic wave)

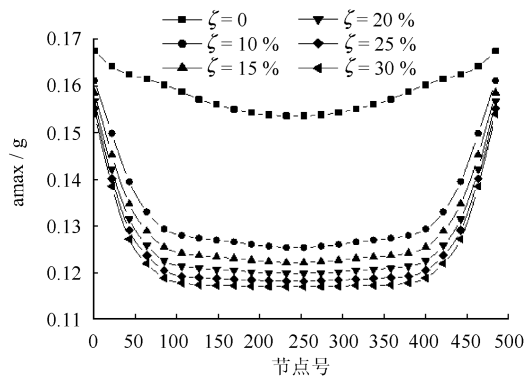


图 6 地面各节点加速度峰值 (EI Centrol 波)
Fig.6 Peak accelerations of surface nodes (EI Centrol wave)

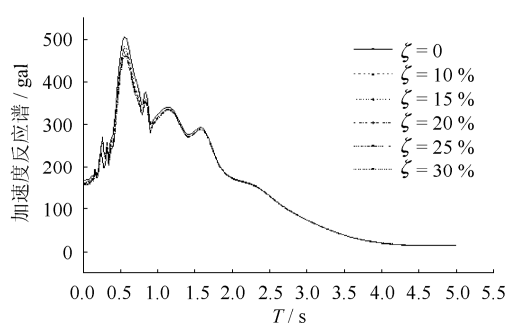


图 7 未加固区加速度反应谱 (EI Centrol 波)
Fig.7 Acceleration response spectra of surface nodes in non-reinforced area (EI Centrol wave)

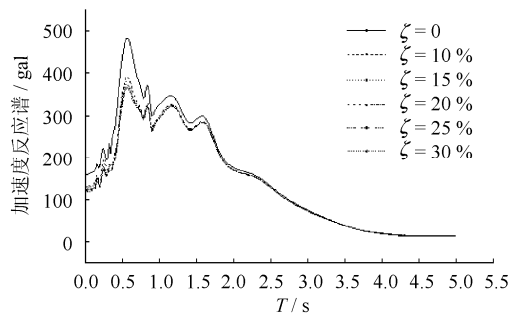


图 8 加固区边缘加速度反应谱 (EI Centrol 波)

Fig.8 Acceleration response spectra of surface nodes at the edge of reinforced area (EI Centrol wave)

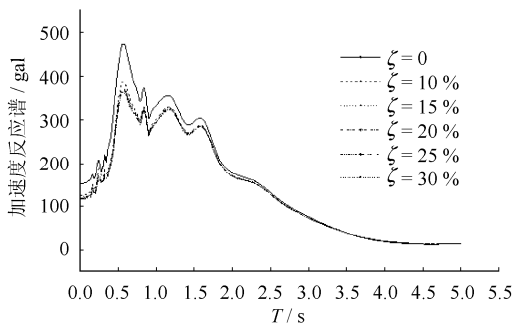


图 9 加固区中点加速度反应谱 (EI Centrol 波)

Fig.9 Acceleration response spectra of surface nodes at the central point in reinforced area (EI Centrol wave)

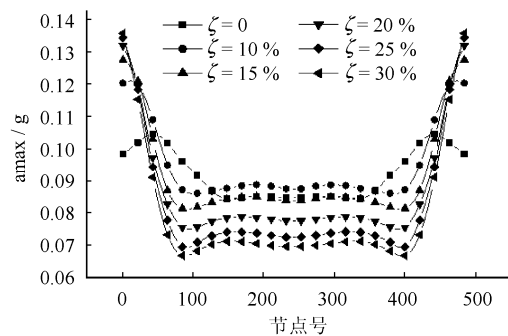


图 10 地面各节点加速度峰值 (迁安波)

Fig.10 Peak accelerations of surface nodes (Qian An wave)

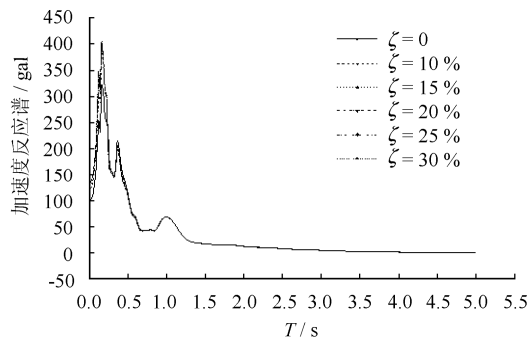


图 11 未加固区加速度反应谱 (迁安波)

Fig.11 Acceleration response spectra of surface nodes in non-reinforced area (Qian An wave)

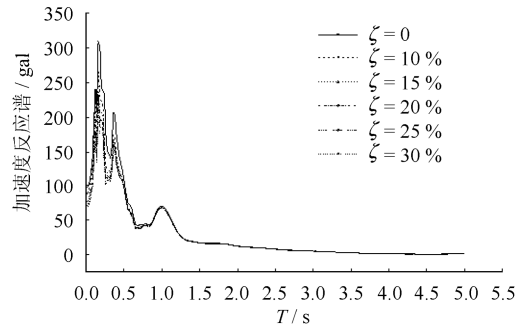


图 12 加固区加速度反应谱 (迁安波)

Fig.12 Acceleration response spectra of surface nodes in reinforced area (Qian An wave)

5 结 论

本文用 FLUSH 程序, 对不同置换率、不同输入波情况下的桩基场地进行了地震反应分析, 通过计算可以看出:

(1) 当置换率为零时, 即未对场地进行处理时, 地表各处的地震反应几乎是一样的, 符合实际情况, 说明本文的计算方法是正确的, 边界的处理也是合理的。

(2) 加固区的地面加速度峰值和反应谱比未加固区的值要小, 并且随着置换率的增大而减小幅度变大。未加固区的值要比加固区大, 这说明, 进行场地处理后, 加固区的地面反应减小, 而临近的未加固区, 场地的反应可能会增大。

(3) 无论是地面加速度峰值, 还是加速度反应谱, 对于三种不同的输入波都有很大的不同, 这说明不同的输入波对计算结果影响很大。但加固对地面反应谱的谱形特性和卓越周期几乎没有影响。

参 考 文 献

- [1] LYSMER J, UDAKA K, TSAI C F, et al. FLUSH—A computer program for approximate 3D analysis of soil-structures interaction problems[R]. California: College of Engineering, University of California, 1970.
- [2] IDRIS I M, SEED H B. Seismic response of horizontal soil layers[J]. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, 1968, 94(4): 693—698.
- [3] 胡聿贤. 地震工程学[M]. 北京: 地震出版社, 1988.
- [4] 廖振鹏. 地震小区划——理论与实践[M]. 北京: 地震出版社, 1989.
- [5] 窦立军. 场地条件与设计地震动[D]. 哈尔滨: 中国地震局, 2001.
- [6] 黄明聪. 复合地基振动反应与地震响应数值分析[D]. 浙江: 浙江大学, 1999.
- [7] 李小军, 彭青. 不同类别场地地震动参数的计算分析[J]. *地震工程与工程振动*, 2001, 21(1): 29—36.
- [8] 王广军. 场地选择和场地类别划分[J]. *建筑科学*, 1988, (2): 49—53.
- [9] GB 50011—2001, 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国工业出版社, 2001.