

# 饱和土对瞬态荷载响应的初步分析

鲁晓兵 张加华 杨振声

(中国科学院力学研究所 北京 100080)

**摘要** 文中给出两个典型爆炸实验并指出了其中共有的特殊现象即负压的出现。对饱和土在这种瞬态荷载下的响应及负压作用作了初步分析。

**关键词** 饱和土 瞬态荷载 负压

## 1 引言

在工程实践中,饱和土常受到瞬态荷载的作用,如冲击、爆炸等荷载。瞬态荷载及效应不同于循环荷载和静载,在其作用下,常有其特殊现象如负压的出现。负压的出现常意味着土体裂缝或孔洞等的出现。

瞬态波解的求解常用积分变换法(付立叶或拉普拉斯)如瞬态时加载的球波或柱波。这里即用该方法对砂土瞬态荷载效应进行分析。

## 2 两个典型实验

在1976年,美国、英国、加拿大等联合作了一次500吨TNT的砂土爆炸实验。查理<sup>[1]</sup>(Charlie)对该实验做了总结与分析,孔压的实测结果如图1,在荷载作用的瞬时,压力迅速上升,然后下降,在一定地点压力降到负值,大约在6小时后又回升。

在1995年,中科院力学所在连云港作了一系列的淤泥爆破实验,孔压的测量结果如下<sup>[2]</sup>(图2),淤泥厚度5.0~6.0m,药量75~450g,埋深1~3m,有条形药包和球形药包两种,在爆腔周围有对称的排水孔出现。

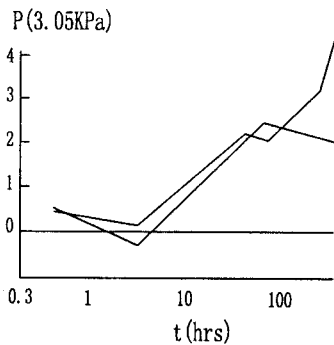


图1 砂土爆炸实验

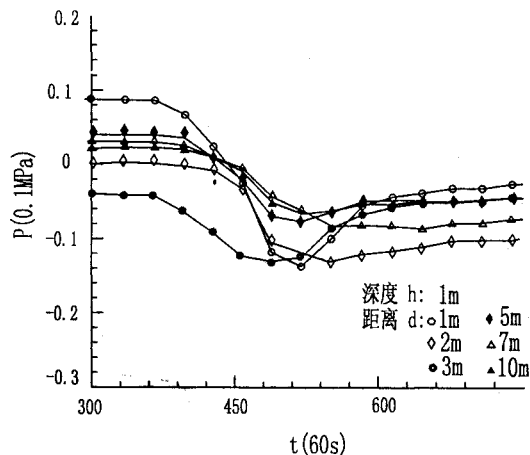


图2 淤泥爆破实验

收稿日期:1998-06-30

\* 本文获国家自然科学基金资助

在上面两个实验中可以看到,孔压在离爆源一定地点在一定时间有负压出现。下面对此现象作初步的分析。

### 3 土对瞬态荷载的响应

爆炸初始常会形成一爆腔,同时有一个激波从爆腔传出,同时,腔内气体压力作用于腔壁。这里认为腔瞬时扩充完毕爆炸力瞬时作用于其上并维持一段时间,对于条形药包是柱形孔瞬态波的传播,对于球形药包则是球形腔的瞬态波的传播。对于无限介质中球形波的传播文献[3]给出了解答(图 3)。下面给出条形药包情况下的解析结果<sup>[4]</sup>。

这里采用柱坐标系,给出其数学模型如下:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \Phi(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} = \frac{\Phi}{c_d^2} \quad (r > a, t > 0) \\ \Phi(r,0) = \dot{\Phi}(r,0) = 0 \quad (r \geq a) \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \Phi(r,t) = 0 \quad (t > 0) \\ \sigma_r(a,t)_{t \rightarrow \infty} = P(t) \end{cases}$$

其中  $\Phi$  为标量势函数,  $c_d$  为波速。

通过拉普拉斯变换,可以求得上述方程的解,下面给出径向应力的解答,另外两个方向的解如图 4 所示。

$$\sigma_r(r,t) = \begin{cases} 0 & t > \frac{r-a}{C_d} \\ \frac{\sigma_0}{\pi} \int_0^\infty I_m \left\{ \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{2}{D^2 r} \right) K_1 \left( \frac{i\eta r}{c_d} \right) + \left( \frac{i\eta}{c_d} \right) K_0 \left( \frac{i\eta r}{c_d} \right) \\ \left( \frac{2}{D^2 a} \right) K_1 \left( \frac{i\eta a}{c_d} \right) + \left( \frac{i\eta}{c_d} \right) K_0 \left( \frac{i\eta a}{c_d} \right) \end{array} \right] e^{i\eta t} \frac{d\eta}{\eta} + \frac{\sigma_0}{2} \left( \frac{a^2}{r^2} \right)^{t > \frac{r-a}{c_d}} \end{cases}$$

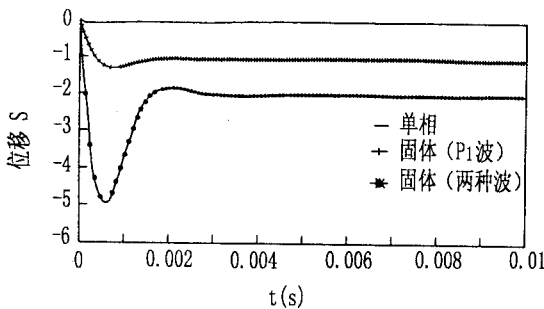


图 3 球形波应力随时间的变化

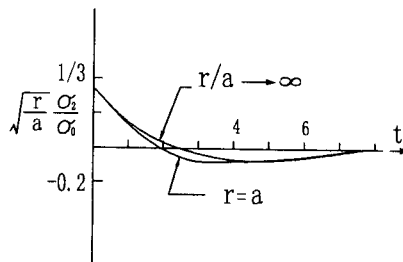


图 4 柱形波应力随时间的变化

从图中可看出。在距内边界一定距离处,砂土中压力从最大值逐渐减小至负压出现,然后又逐渐上升。负压出现的后果是土有拉应力,该处易形成裂缝或孔洞,因而是排水通道形成的地点。

### 4 结 语

这里对瞬态荷载下土的效应作了初步的探讨,对该荷载下土的液化及负压现象作了分析。

作为初步探讨,土介质视为弹性,与实际情况有一定误差,对非弹性情况还需要做更多的工作。

参 考 文 献:

- 1 W. Charlie, The Dial Pack Event, The International Workshop on Blast-Induced Liquefaction, U. K., 1978
- 2 陶俊,杨振声. 淤泥爆炸排水固结孔水压力场实验研究,工程爆破文集第六集,海天出版社,1997
- 3 徐长节,吴世明. 饱和土中球面波的传播. 应用数学和力学. 北京:19(3),1998
- 4 杨桂通,张善元. 弹性波动力学. 北京:中国铁道出版社,1998

## Preliminary Analysis on the Responses of Saturated Soil under Instantaneous loading

*Lu Xiaobing Zhang Jiahua Yang Zhengzhong*

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

**Abstract** Two typical experiments of blast are given and the special phenomenon with occurrence of negative pore pressure is pointed out first in this paper. Preliminary analysis has been worked out for the responses of saturated soil under instantaneous loading.

**Keywords** saturated soil, instantaneous loading, negative pressure

(上接第9页)

(2) 由于有土工布承受拉力,具有整体性好的性能,所以可承受瞬时增加较大的荷载,从而使控制填土的允许变位放宽。

(3) 以土工布作垫层,能调整并扩散上部填土层下的应力,从而减少地基因局部应力过大而破坏的可能性。同时由于土工布使上部传到地基的应力比较均匀,所以地基沉降也较均匀。

## 6 结束语

土工布和砂井结合处理软基,对争取工期,加快固结都有成效,而且施工简单,可降低成本费用,提高了施工速度。

## Combined Treatment of Soft Subgrade by Geosynthetics and Wick Drain

*Guo Hangwei*

*Qi Xiuli*

(1st Eng. Dept. 13th Eng. Bureau of Ministry of Railway, Shi Jiachuang 050043)

**Abstract** Combining with the practical example of Xia-Zhang highway, the construction technology, quality monitoring and treatment effectiveness of the combined treatment of soft subgrade by geosynthetics and wick drain are introduced in detail.

**Keywords** wick drain, soft soil, geosynthetics