

强夯法机理及其影响深度*

王其善

(郑州工学院水环系)

摘 要: 本文根据波动理论, 阐述了强夯对地基的加固机理是其产生的横波和纵波的共同作用; 提出纵波决定其影响深度。在此基础上推导出了计算影响深度的理论公式, 并通过一工程实例进行了验证。

关键词: 强夯法, 横波, 纵波, 影响深度

中国图书分类号: TU47

强夯法加固软土地基首先是法国梅那德 (Menard, L) 技术公司研制的。它是用起重设备将一重锤 (一般 80—300KN, 最大 2000KN), 吊至一定高度 (一般—30m, 个别超过 30m) 使重锤自由下落, 对软基实施强行夯实。

该方法有其独道之处, 能有效地解决地基不均匀沉降, 消除黄土的湿陷性, 提高地基承载力。另外, 该方法设备简单, 工期短, 节省三大料, 经济效益显著。

就其适用范围来讲, 除了对高含水量的粘土地基的处理有不成功的例子外, 对其它所有软土地基, 包括水下地基的处理均是可行的。

但强夯法的加固机理及其影响深度仍是值得探讨的问题, 尤其影响深度至今尚未有一个完整的理论公式。本文根据波动理论推导出了一个计算影响深度的理论公式。该公式除了考虑机具本身的性能外, 还考虑了土体本身的一些性质。

1 强夯对地基的加固机理

强夯过程实际上是一个能量转换过程, 即机械能——重锤势能——重锤动能——土体各质点的动能和势能。由于地基是弹塑性体, 所以, 在巨大夯击能的作用下, 质点在连续介质内振动的能量可以传递给周围介质而引起周围介质的振动, 振动在介质内的传播过程形成波, 根据其作用、性质和特点的不同, 可分为体波和面波两种。

强夯主要是体波起加固作用。体波又分为横波和纵波两种。横波是由夯点向外传播的剪切波, 质点振动方向与波的前进方向相垂直, 它可以造成土颗粒产生剪切滑移, 使土体产生裂隙, 以利于水和气体的排出, 同时也可使天然裂隙闭合, 但不产生体积变化; 纵波是由夯点向外传递的压缩波, 质点的振动方向与波的前进方向一致, 导致土体密度增加, 孔隙水压力增大, 同时伴随体积变化。

面波 (包括瑞利波和乐甫波两种) 仅限于地基表面传播。瑞利波传播时, 介质质点在波的传播方向与自由面 (地面) 的法线组成的平面内作椭圆形运动, 地面质点呈滚动式运

* 收稿日期: 1992-01-14

动;而乐甫波只是在与传播方向相垂直的水平方向作平面运动。

由此看来,强夯的巨大冲击能作用于地基上,在地基中产生的面波不但起不到加密作用,反而对地基表面产生松动作用。

在实施强夯时,重锤从高处自由落下,产生强大的动能作用于地基,由动能转化为波能,从夯点向深层扩散,能量释放于一定范围的地基中,使土体得到不同程度地压密加固。强大的夯击能使土体产生剪切、压缩和侧向挤压等。

由于横波周期长、振幅大;而纵波周期短、振幅小。所以,当达到一定深度范围时,将只有纵波的存在。随深度的增加,纵波强度衰减,而压密作用也逐渐减小。

地基土压密状态的

模式如图1所示:第一层是地基土因受冲击力而受扰动,主要是面波和横波在地表层的传播使土体产生上下运动,土体松动而形成的松弛区域。第二层是压缩波的反复作用,在土体中产生的应力超过了地基土的极限强度 σ_L 。这一区域内的土体吸收纵波放出的能量最多,因此这一层的加固效果也

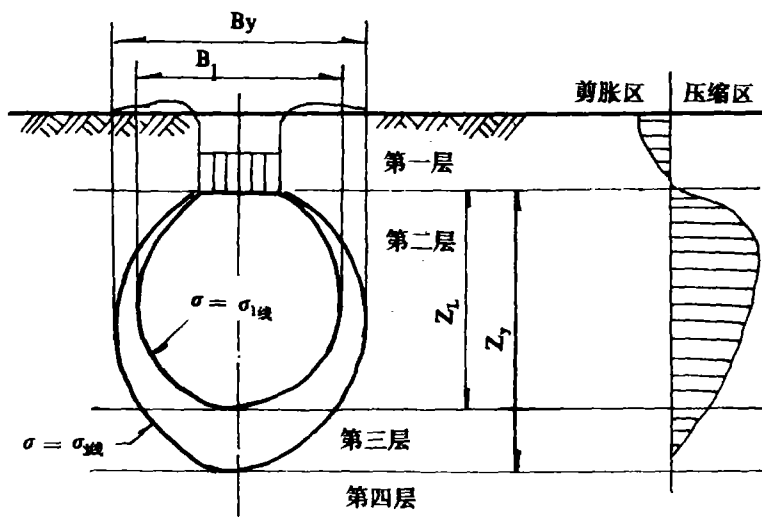


图1 地基土压密状态模式

最好。第三层是压缩波衰减,强夯在此区域内产生的应力在极限值 σ_L 与屈服值 σ_y 之间,是加固效果迅速下降的区域。第四层土体中的应力处于地基的弹性界限内,波能的消耗已无法克服土体的塑性变形,此层/基本上没有得到加固。 B_y 、 Z_y 是一个夯击点的加固范围,也就是纵波传播的有效距离。

2 强夯法影响深度

McNard 在其早期工作中,提出强夯加固深度 Z 的近似值是 $Z \leq \sqrt{WH/10}$

式中 W ——重锤重量(KN), H ——重锤落距(m)。

根据我国实际情况,目前人们修正了这一公式: $Z = \alpha \sqrt{WH/10}$

α —修正系数。 α 的变化范围一般为 0.5—0.8。如软土取为 0.5,黄土为 0.34—0.50 等。但这个系数是根据实际工程的勘察检测结果。通过大量回归计算给出的。这就给实际应用带来了不便。为此,本文推导了如下公式:

根据能量守恒定律,重锤下落的能量(若不考虑空气摩擦、重锤回弹等损失)应等于加固深度内振动土体的能量消耗。

把振波当作谐波考虑,应用能量密度概念,总的平均能量密度: $\bar{\omega} = \frac{1}{2} \rho A_0^2 e^{-2\rho Z} \omega^2$

ρ —加固后的土体密度; A_0 —夯点处振波振幅。

β —土体的吸收系数; Z —影响深度 ω —圆频率

根据观测, 吸收总平均能量的土体, 近似为具有 x 、 y 、 z 轴的椭球体($x = y = \frac{1}{2}Z$)^{〔2〕}.

由此可计算在影响深度内振动土体的总能量为:

$$E_d = \frac{\pi}{6} \rho A_0^2 e^{-2\beta Z} \omega^2 Z^3 \quad (1)$$

$$\text{重锤产生的总能量为: } E_h = WH \quad (2)$$

$$\text{联立(1)、(2)两式: } E_h = E_d \text{ 即 } E_h - E_d = 0 \quad (3)$$

$$\text{亦即 } f(Z) = WH - \frac{\pi}{6} \rho A_0^2 e^{-2\beta Z} \omega^2 Z^3 = 0 \quad (4)$$

显然, Z 是 W 、 H 、 ρ 、 A_0 、 β 、 ω 及地下水位等参数的复杂函数, 而与 W 、 H 之间并无恒定的关系。

在合理的强夯施工参数指导下, 强夯加固地基土体的影响深度 Z 可由 (4) 式求得。

下面通过一工程实例, 说明理论分析计算值与实测值之间具有良好的一致性。

3 举例

河南省鹤壁火电厂厂区及生活区地基上部系人工杂填土(黄土状粘性土、粘土内含钙质结核及砂岩风化石), 填土厚度 4—13 米, 最大厚度为 16 米。下部系粘性土。设计强夯单击能为 (1.0—3.2) MJ, 锤重为 (100—160) KN, 落距为 (10—20) m。分三遍进行强夯, 前两遍采用高夯击能, ($W = 160\text{KN}$, $H = 15\text{m}$) 第三遍采用中夯击能 ($W = 120\text{KN}$, $H = 12\text{m}$) 最后采用低夯击能满拍, 整平场地。

3.1 夯前夯后地基土的物理力学性质变化

夯前土体的含水量变化较大, 从 10.5%—22.5%; 而夯后土体的含水量变化幅度减少为 12.0%—19.8%。

从密度及孔隙比指标来看, 夯后土密度普遍比夯前有明显提高(图 2); 夯后土孔隙比比夯前有明显降低(图 3)。

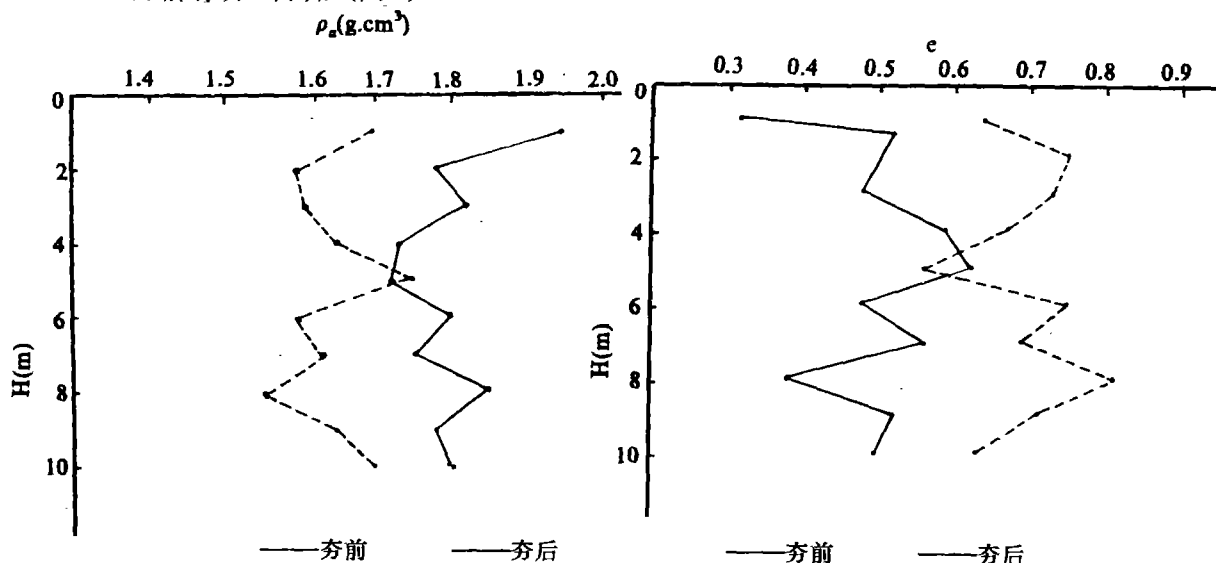


图 2 夯前夯后 ρ —关系曲线

图 3 夯前夯后 e — H 关系曲线

地基土压缩模量 E_s 由夯前的(6.8—16.7)MPa 提高到夯后的(12.7—38.6)MPa; 另外, 抗剪数 C 值比原来增大一倍, ϕ 值也比原来提高 1—4 度。

统计表明, 强夯的影响深度一般为 9.0—10.0 米, 个别达到 12.5 米以下深度。

3.2 夯前夯后标准贯入试验

标贯试验是确定强夯影响深度的有效手段之一。图 4 是夯前夯后标贯试验的对比曲线。

可以看出, 标贯试验结果与土工试验结果是吻合的。

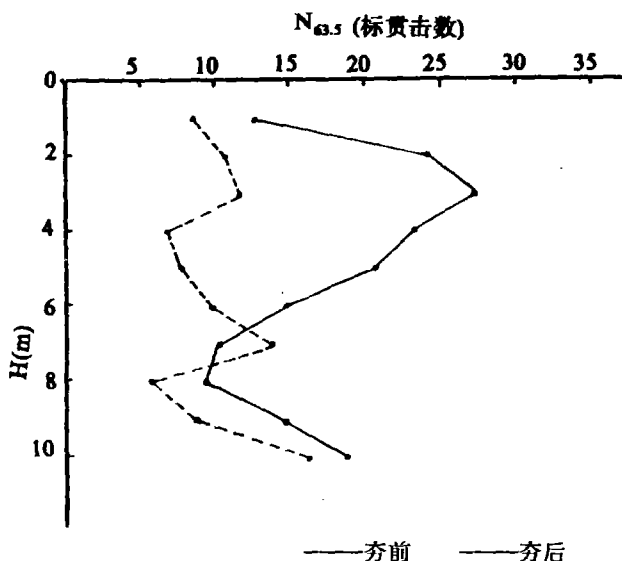


图 4 夯前夯后 $N_{63.5}$ — H 关系

3.3 理论影响深度曲线

$W = 160\text{KN}$, $H = 15\text{m}$, $\rho = 1.80\text{g/cm}^3 = 1.80 \times 10^3\text{Kg/m}^3$, $A_0 = 2.0\text{cm} = 2.0 \times 10^{-2}\text{m}$, $\beta = 0.058\text{m}^{-1}$ (根据文献[1]中波速公式转换而来), $\omega = 2\pi v$, $v = 21\text{S}^{-1}$ 。

将以上参数代入公式 (4), 求得影响深度 $Z = 10.9\text{m}$ 。与试验结果也是一致的。

4 结论

4.1 强夯法施工方便、设备简单、工期短、造价低, 经济效益显著。

4.2 正是由于上述特点, 强夯理论的研究才显得不够仔细他而充分。

本文关于强夯法影响深度的探讨也仅是初步的。

参 考 文 献

- (1) 中国科学院武汉岩土力学研究所. 河南鹤壁火电厂强夯振动振测报告. 岩土 (89) 报告 70 号, 1989 年 8 月。
- (2) 王钟琦. 邓祥林. 强夯机理及其环境影响. 第四届土力学及基础工程学术会议论文选集, 1984 年 10 月。

The Mechanism and Influence Depth of Strong Rammer Method

Wang Qishan

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: Based on the wavetheory, the paper expounds that the reinforcement of strong rammer upon ground is the common function of transverse and longitudinal wave, and presents the theritical formulae of calculating influence depth, which is verified by the engineering example.

Keywords: strong rammer method, transverse and longitudinal wave, influence depth