强夯加固效果的深度效应

罗嗣海　　陈进平
(华东地质学院，临川，344000)　　(广东惠东建设局，惠东，516300)
龚晓南
(浙江大学，杭州，310027)

提　要　提出了相对加固程度的概念；根据提出的相对加固程度表达式，初步研究了强夯加固时用干容重与孔隙比表达的黄土中加固效果的深度效应和用标贯击数与锥尖阻力表达的砂土中加固效果的深度效应的统计规律。

一　引言

强夯加固效果受地质条件(土类、土质、地层结构、地下水等)和施工工艺(单击夯击能、夯击击数、夯点布置、夯击遍数、间隙时间等)两方面的影响。但在一定地质条件和施工工艺下，加固效果随空间位置的不同而不同。本文从工程实例初步分析了夯点下强夯加固效果沿深度方向的变化规律；提出了相对加固程度的概念，并分别对黄土和砂土中重要工程指标加固程度的深度效应进行了初步统计，得出了相应的经验方程。

二　相对加固程度的概念

强夯的加固程度可用指标 X 夯击前后的差值(X_A-X_B)来表示。强夯的加固程度沿深度增大而逐渐减弱，即强夯加固效果存在深度效应。若夯前土性指标沿土层整个深度方向上完全相同，则夯后土性沿深度方向的差异完全是由于强夯加固效果沿深度方向的差异所致，加固程度的深度效应完全可由指标 X 夯击前后的差值(X_A-X_B)沿深度方向的变化来反映。但实际土层总是非均质的，即使岩性完全均一，夯前土性指标也总是沿深度变化的；因此，某一深度 Z 处的指标 X 夯击前后的差值(X_A-X_B)大小，一方面与夯击在此深度产生的作用有关，另一方面又与该深度处指标 X 夯击前的数值有关。

为探讨强夯加固效果的深度效应，消除夯前土性的影响，笔者提出相对加固程度的概念，其定义为：

$$R_X = \left| \frac{X_A - X_B}{X_{MAX} - X_B} \right| \tag{1}$$

式中:R_X为某深度处指标 X 的相对加固程度；X_A、X_B分别为该深度处指标 X 的夯后值、夯前值；X_{MAX}为指标 X 夯击时可能达到的最大(对夯击产生增大的指标)或最小值（对夯击产生减小的指标），它可取夯击作用后夯点下浅部的代表性最大或最小值，也可按经验或理论值来估算（如对相对密度，可取 D_{MAX}=1.0）。

三　加固效果深度效应的统计研究

现用若干工程实例中的实测成果来初步研究两类主要加固对象中主要工程指标的加固程度沿深度变化的统计规律。

1. 黄土的干容重（γ_d）、孔隙比（e）表示的加固效果

图 1 是根据若干工程实例[1]-[4]实测结果绘出的用 γ_d和 e 表示的相对加固程度 $R_{\gamma d}$和 R_e 与无量纲深度(Z/b)的关系图，其中加固深度 b 是按 Slocombe(1993)经验公式[1]计算的，即：

$$b = 0.585(WH)^{0.5} - 0.009WH \ (WH\text{:tm}) \tag{2}$$

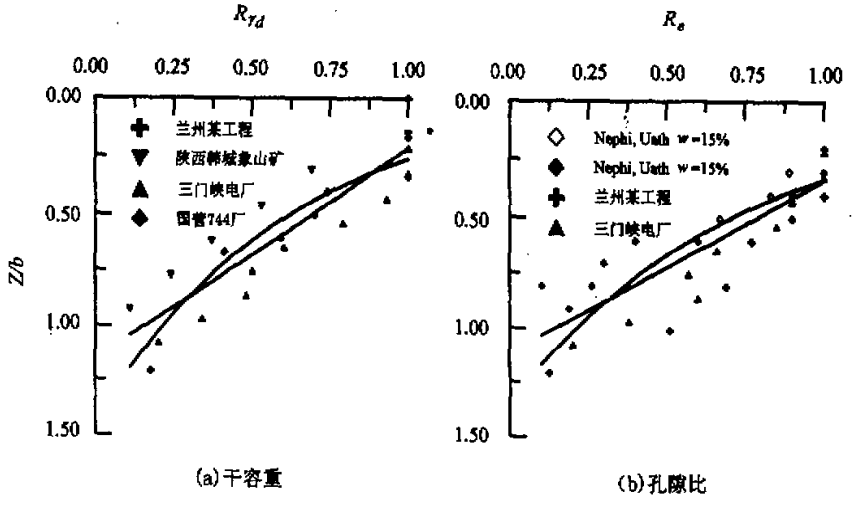


图1　黄土的相对加固程度与无量纲深度的关系

对实测结果分别用线性和指数形式进行拟合，结果如下：

线性拟合　$R_{\gamma_d} = -1.07\dfrac{Z}{D_e} + 1.22 \qquad \gamma = 0.82$　　(3a)

$$R_e = -1.29\frac{Z}{D_e} + 1.43 \qquad Y = 0.74 \tag{4a}$$

指数拟合 $$R_{r_d} = -0.58\ln\frac{Z}{D_e} + 0.216 \qquad Y = 0.76 \tag{3b}$$

$$R_e = -0.71\ln\frac{Z}{D_e} + 0.221 \qquad Y = 0.71 \tag{4b}$$

2. 无粘性土标贯击数与静力触探锥尖阻力表示的加固效果

图 2 是根据若干工程实例[4]-[6]实测结果绘出的用 $N_{63.5}$ 和 q_c 表示的相对加固程度 $R_{N63.5}$ 和 Rq_c 与无量纲深度 $Z/(WH)^{0.5}$ 的关系图。对实测结果分别用线性和指数形式进行拟合，结果如下：

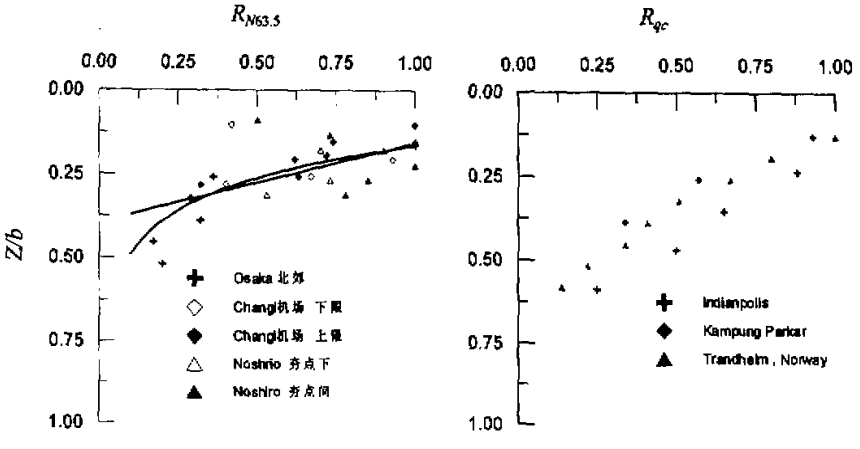
线性拟合 $$R_{N_{63.5}} = -4.23\frac{Z}{\sqrt{WH}} + 1.67 \qquad Y = 0.38 \tag{5a}$$

$$R_{qc} = -1.91\frac{Z}{\sqrt{WH}} + 1.22 \qquad Y = 0.88 \tag{6a}$$

指数拟合 $$R_{N_{63.5}} = 3.22\exp(-7.09\frac{Z}{\sqrt{WH}}) \qquad Y = 0.49 \tag{5b}$$

$$R_{qc} = 2.03\exp(-4.11\frac{Z}{\sqrt{WH}}) \qquad Y = 0.85 \tag{6b}$$

从上述关系曲线和拟合方程来看，标贯击数表达的加固程度沿深度的变化规律性最差，这可能与土质本身的非均质性和标贯试验方式(间断性而非连续性进行)有关。



(a) 标贯击数　　(b) 静探锥尖阻力

图 2 砂土中相对加固程度与无量纲深度关系

四 结束语

本文提出了相对加固程度的概念来表示强夯加固效果的深度效应。应用所提出的概念和一些工程实例，分别研究了黄土和砂土中若干重要工程指标夯击效果的深度效应；结果表明：黄土中的干容重、孔隙比及砂土中的锥尖阻力具有较明显的深度效应，经验方程的相关系数较低；但砂土中用标贯击数表达的加固效果与深度的相关性较差。

参考文献

[1] B.C.Slocombe. Dynamic Compaction. Ground Improvement. Florida: CRC Press, INC., 1993.

[2] K.M.Rollins, S.J.Jorgensen. Optium Moisture Content For Dynamic Compaction Of Collopisble Soils. Journal of Geotechnical And Environmental Engineering, 1998, Vol.124(8):699-708.

[3] 卞昭庆，刘政：《湿陷性黄土地基强夯强夯的检验与评价》，《工程勘察》，1993(6)：1-6。

[4] 王铁宏主编：《全国重大工程项目地基处理工程实录》，北京，中国建筑工业出版社，1998。

[5] Y.K.Chow, D.M.Yong. Dynamic Compaction of Loose Sand Deposits. Soils and Foundations, 1992, Vol.32(4):93—106.

[6] Y.K.Chow, D.M.Yong. Dynamic Compaction Analysis. Journal of geotechnical Engineering, 1992, Vol118(8):1131-1157.