

瞬态面波法在公路软基勘查中的应用研究

孙 渊¹, 丘斌煌¹, 王赞文²

(1. 长安大学地测学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省公路勘察设计院, 陕西 西安 710068)

摘要:对公路建设中时常遇见的砂土类软弱路基问题,采用瞬态面波法并结合少量钻孔测试信息,建立面波速度和砂土力学参数的关系模型,可预测勘查区的砂土力学参数的纵横向展布特征和规律。经实践检验,预测结果与实际砂土介质的变化规律基本吻合,表明所建立的关系数学模型基本正确并具有较高的实用性。结果为公路砂土路基分类评价以及软弱路基的勘查提供了一个经济可行的思路和方法。

关键词: 频散; 速度; 标准贯入击数($N_{63.5}$); 承载力; 回归分析

中图分类号: P631.44 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)01-0015-05

Application Study on Transient Surface Wave Method in Soft Foundation Exploration of Highway

SUN Yuan¹, QIU Bin-huang¹, WANG Zang-wen²

(1. College of Geology Engineering and Geometrics, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Shanxi Highway Survey Design Institute, Xi'an 710068, China)

Abstract: The weak roadbed in sand soil area is a common problem in the highway construction. Adopting transient surface wave method combining with the test information of some drill holes, the relation model of the interface wave velocity and sandy soil mechanics parameters is built up in this paper, and the vertical and horizontal distribution characteristic and regulation of the sandy soil mechanics parameters can be predicted in prospecting area. Through the practice checking, the predict result mainly coincides with the variety regulation of the actual sandy soil medium, which indicates that the mathematiced relation model built up in the paper is correct and has higher practicability. The method will provide an economic viable way for prospecting and the classification evaluation of sandy soil in highway roadbed.

Key words: Dispersion; Velocity; Number of Standard Penetration ($N_{63.5}$); Carrying capacity; Regress analysis

0 引言

浅表地层的瑞雷波法勘查是近年来发展起来的一种新的弹性波勘查方法技术。与常规的弹性波勘查方法相比,瑞雷波法具有纵向分辨率高、应用范围广、勘查速度快及经济实用等优点,因此广泛应用于浅表层岩土工程勘察和灾害地质调查等领域。该方法主要是利用了瑞雷波的特性,其一是瑞雷波在岩土介质中传播时的频散特性;其二是瑞雷波传播速度与介质的物理力学性质的密切相关性。利用

这两种特性可以解决诸如岩土介质的分层及评价、软基勘查、地基加固处理效果评价、地下空洞及掩埋物探测等问题。本文主要结合在银川绕城高速公路、靖边高速公路等工程地质勘察中的软弱路基勘查问题,进行方法技术讨论及应用效果分析。

1 基本方法

1.1 面波频散及提取技术

收稿日期:2005-07-20

作者简介:孙 渊(1959—),男(汉族),山东牟平人,副教授,主要从事地震勘探教学与科研工作。

根据面波理论可知,瑞雷面波主要沿地表面附近传播,其主要影响带范围约等于一个波长深度。在半空间介质中,若只考虑二维情况,当表层介质为非均匀松散介质,下部为完全弹性均匀介质时,其瑞雷面波方程为

$$\mu(1 + \nu_2^2)^2 - \rho_0 \nu_1 \omega V_r (1 + \nu_2^2)^2 - 4\mu \nu_1 \nu_2 + 2\rho_0 \nu_1 \omega V_r = 0$$

其中 μ 为剪切模量; ρ_0 为松散介质的密度; ν_1 和 ν_2 分别为与 V_r 、 V_p 和 V_s 有关的量值; $\omega = 2\pi f$, f 为频率。由该方程可见,在此类结构介质中可产生瑞雷面波,波场有频散。可以证明,在非完全弹性层状介质中,亦可产生瑞雷面波,其波场有频散。

就瑞雷波勘查而言,借助其传播速度随波场频率的变化关系等传播特性,在地表沿波的传播方向以一定的间距 Δx 设置 $N+1$ 个检波器,就可以检测到具有频散特性的瑞雷波。设瑞雷波的频率为 f_i ,相邻检波器记录的瑞雷波的时间差为 Δt 或相位差为 $\Delta\varphi$,则相邻道间隔内瑞雷波的传播速度可表示为

$$V_R = \Delta x / \Delta t$$

或

$$V_R = 2\pi f_i \Delta x / \Delta\varphi$$

测量 $N\Delta x$ 范围内的平均波速为

$$V_R = \frac{N\Delta x}{\sum_{i=1}^N \Delta t}$$

或

$$V_R = 2\pi f_i N \Delta x / \sum_{i=1}^N \Delta\varphi$$

在同一地段测量出一系列频率的 V_R 值,就可以得到一条 $V_R - f$ 曲线,即所谓的频散曲线。该曲线的变化规律与地下岩土介质的性质存在着内在联系,通过对其反演解释可得到地下不同深度范围内的瑞雷波传播速度 V_R 值。即 $V_R - H(\beta\lambda_\Delta)$ 曲线,据此可对岩土介质的物理性质做出评价。式中 λ 为波长; β 为深度转换系数,一般取0.5~0.8。

对于软弱路基,只要内部结构有“差异”,其面波波场均可能存在频散现象。软弱路基的频散曲线可能存在的特征为: V_r 速度随深度的增加局部有低或高的突变,频散点不稳定,分布不均匀,曲线有回折。

在实际勘查中,为精确描述软弱路基的纵横向展布特征,应注意下述问题:

(1) 对砂土类软基可选择不同的激发方式并以低频探头为主进行勘查,当勘查深度较大时最好采

用炸药震源方式激发,以便获得宽频带面波波场;

(2) 根据勘查对象可能的埋深和介质的性质,合理选择道间距和排列长度,一般勘查对象埋藏较浅时道间距和排列长度不易太大;

(3) 在提取频散曲线之前,尽量作好波场分离处理;

(4) 在深度和层速度反演中,目前流行的软件算法均具有一定的误差,这与复杂介质难于精确表述有关,但其结果仍具有一定的实用性。为提高反演结果精度,一般可用已知钻孔资料对其进行校正。

1.2 岩土介质参数提取

由于波速 V_R 为弹性波场参数,理论分析认为影响其变化的因素不唯一。尽管其纵横向变化特征可用于对砂土介质进行分类评价,但毕竟是间接参数,因此有必要根据其与砂土力学参数的关系,将其转换为可直接描述砂土力学性质的参数,如标贯击数和承载能力等。参数提取基本思路流程如图1所示。

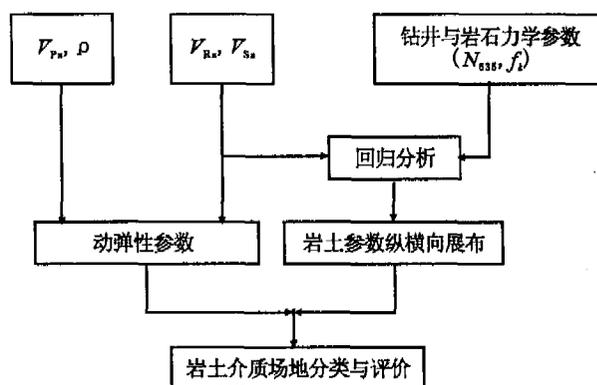


图1 参数提取基本思路流程

Fig.1 The basic flow of parameter extraction.

2 实际应用分析

2.1 实际资料概况

勘查对象为西部某地区第四系砂土层,勘查目的主要是采用瞬态面波法查明第四系砂土层中可能存在的软弱层的分布范围。

采用24道高精度数字地震仪,动态范围为138 db;4.5 Hz低频检波器接收;锤击震源激发。采集方法采用相遇观测系统,24道接受,偏移距2 m,道间距2 m。记录参数为:采样率0.5 ms;记录长度512 ms;滤波挡为全通。采集原始单炮记录如图2所示。由图可见面波发育较稳定,能量强,但其他波场亦较发育。

面波资料处理流程如图3所示。由于原始记录

中波场较复杂,因此处理中较关键的一步为波场分离。处理结果见图4和图5。

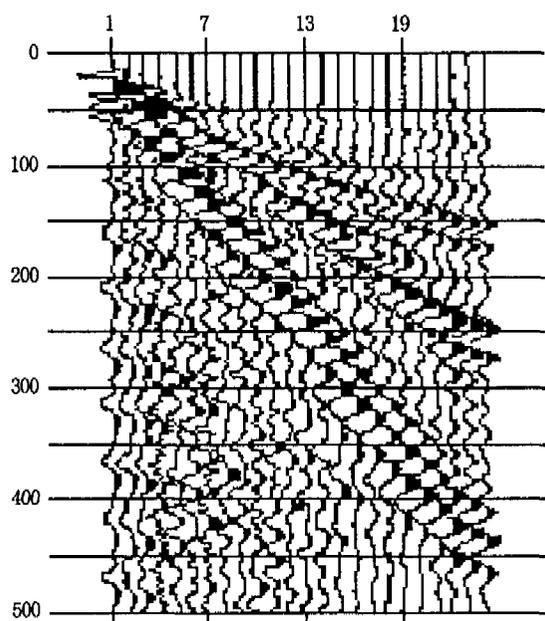


图2 瞬态面波原始单炮记录

Fig.2 Original single shot record of transient surface wave.

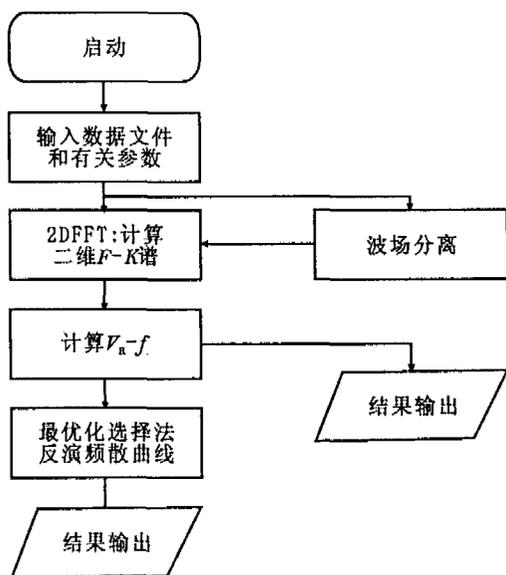


图3 瞬态面波数据处理流程

Fig.3 Data processing flow of transient surface wave.

图4-图5为K87+400工点经过处理后的面波速度展开剖面。剖面由五个面波点组成,点间距50m。分析可见其速度的横向展布特征清晰,变化合理,可连续追踪。其中频散曲线的低速回折变化表明了软基的存在。

2.2 砂土力学参数提取及分析

2.2.1 参数提取

(1) 标准贯入击数参数预测

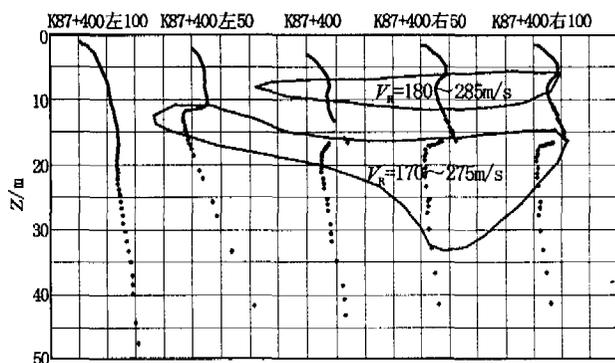


图4 K87+400工点横剖面面波频散曲线展开图

Fig.4 Expanded view of surface wave dispersion curves at K87+400 crosssection.

根据实际公路工程多口钻孔测试资料和相同点位与层位的面波勘查资料,分析认为钻孔测试的第四系砂土层 $N_{63.5}$ 值与面波速度 V_R (V_S) 值具有较好的相关性。此处标准贯入击数测试采用锤重为63.5 kg,落距为76 cm的自动落锤法。经71个测试点的统计分析,工区的 $N_{63.5}$ 值与 V_R (V_S) 值的相关关系:

$$N_{63.5} = 1.6 \times 10^{-3} V_R^{1.7763}$$

为一非线性的指数形式,其相关系数为 $r = 0.871$ 。回归分析曲线结果见图6。

根据 V_R 与 $N_{63.5}$ 的相关关系,可将K87+400工点的面波速度剖面转换为标贯击数 $N_{63.5}$ 的展布剖面,结果见图7。

(2) 承载力参数预测

根据工区瑞雷波速与地层容许承载力 f_k 的统计分析,统计测试点71个,发现 V_R 与 f_k 也有较好的相关性,其关系曲线可表示为

$$f_k = 1.6579 V_R^{0.8481}$$

为一非线性指数形式,其相关系数为 $r = 0.8463$ 。回归分析曲线结果见图8。

根据 V_R 与 f_k 的相关关系,可将K87+400工点的面波速度剖面转换为地层容许承载力 f_k 的展布剖面,结果见图9。

2.2.2 综合分析

综合分析波速 V_R 、承载力 f_k 和标贯击数 $N_{63.5}$ 参数的纵横向展布特征可见,三种参数具有较好的相关关系,主要表现为波速 V_R 增高,则承载力 f_k 和标贯击数 $N_{63.5}$ 值增大;反之 V_R 值降低,承载力 f_k 值和标贯击数 $N_{63.5}$ 值均降低。其中三种参数的相对低值的变化为:

面波层速度:210~260 m/s;

标准贯入击数:22~35 锤(次);

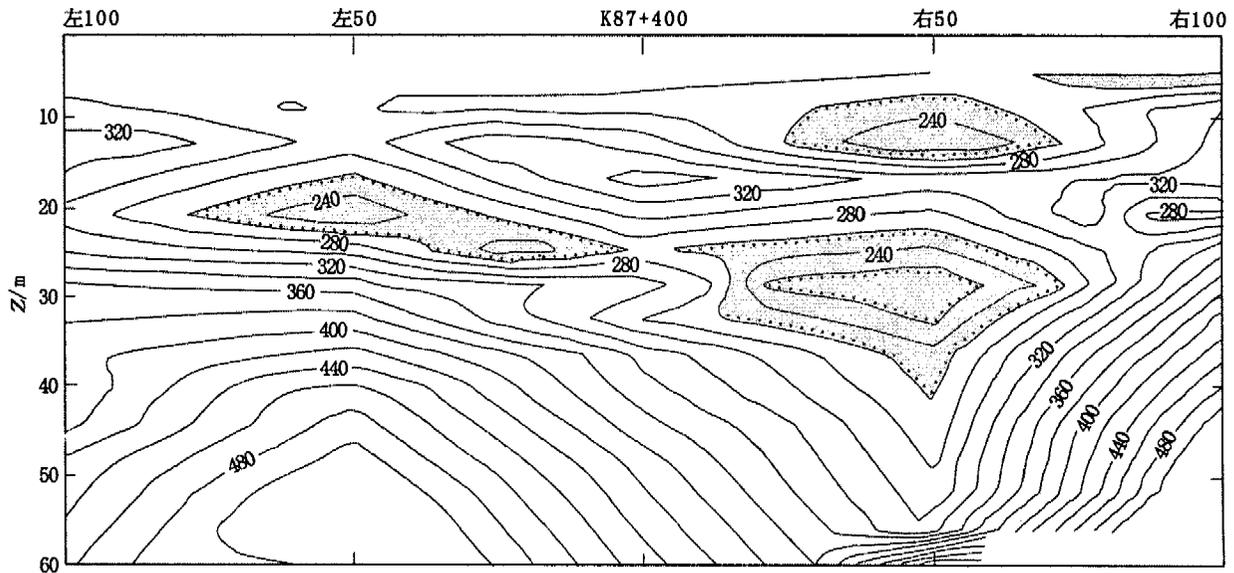


图5 K87+400 工点横剖面面波层速度等值线图

Fig. 5 Isolines map of surface wave layer velocity at K87+400 crosssection.

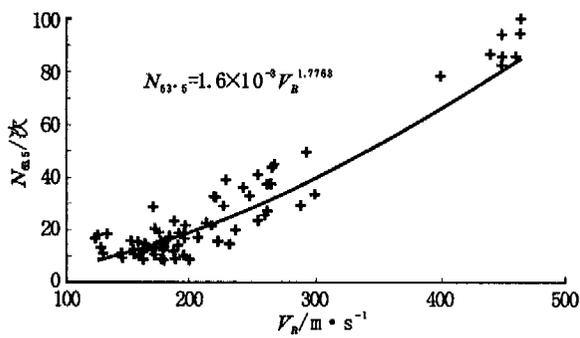


图6 $N_{63.5}-V_R$ 回归分析曲线图

Fig. 6 Graph of regress analysis between $N_{63.5}$ and V_R .

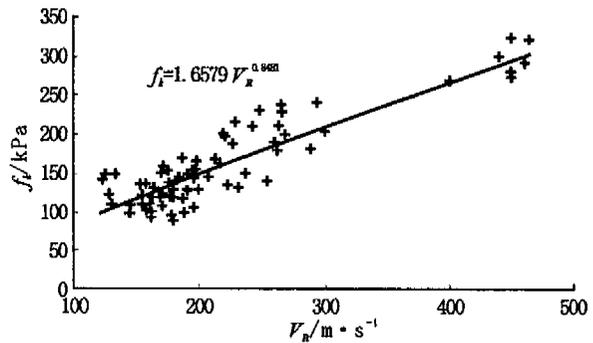


图8 f_i-V_R 回归分析曲线图

Fig. 8 Graph of regress analysis between f_i and V_R .

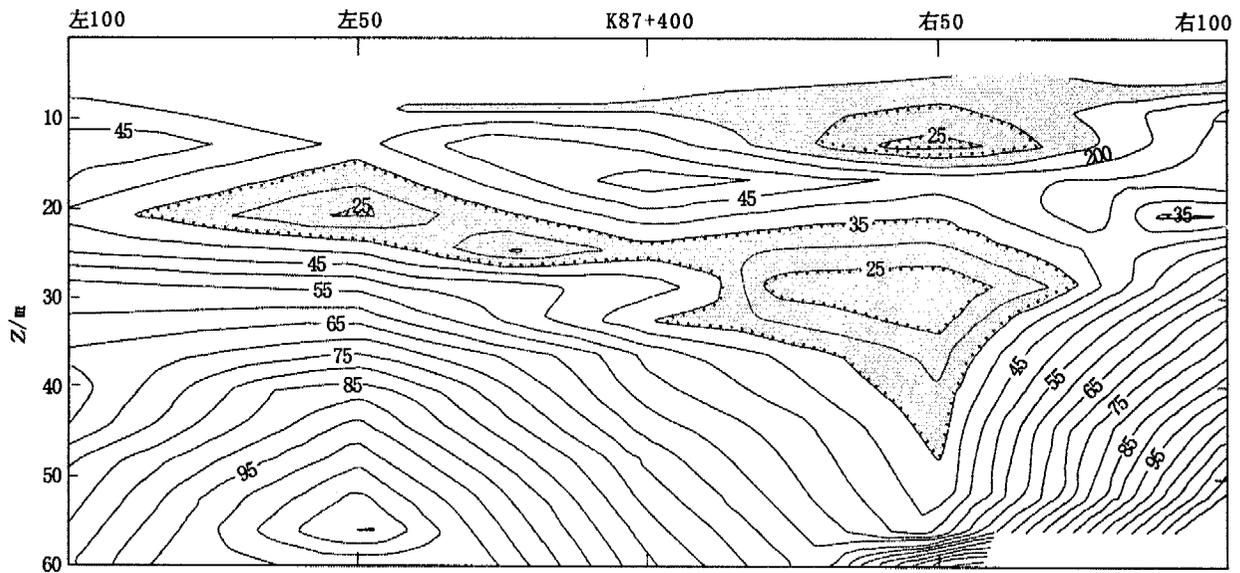


图7 K87+400 横剖面标准贯入击数 $N_{63.5}$ 等值线图

Fig. 7 Isolines map of the Standard Penetration number ($N_{63.5}$) at K87+400 crosssection.

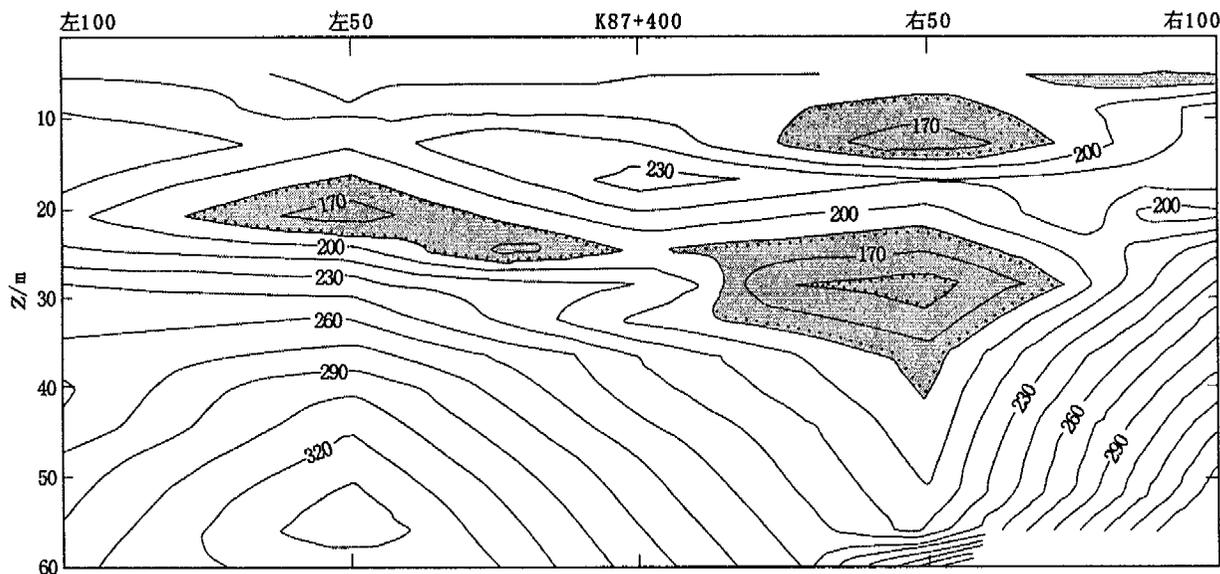


图9 K87+400横剖面容许承载力 f_k 等值线图

Fig.9 Isolines map of the admit carrying capacity(f_k) at K87+400 crosssection.

承载力:150~200 kPa。

根据参数特征和规范分析可知,三参数的相对低值区表明了可能存在的软弱路基区域。该结果经钻孔验证基本正确无误。

3 结论

(1) 根据砂土介质已知钻孔信息,统计分析获得的面波速度与砂土介质力学参数的经验公式依据充分合理,据此所求取的砂土力学参数剖面经实际资料验证基本正确无误,误差小于8%。

(2) 针对第四系砂土介质求得的速度与力学参数的经验关系模型,就西北地区同类型介质而言具有较好的适应性,据此可实现对软弱路基的快速评价。

[参考文献]

- [1] 杨成林. 瑞雷波勘探[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [2] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 东营:石油大学出版社,1993.
- [3] 冯兵,孙渊. 工程及水文物探教程[M]. 西安:陕西人民教育出版社,2003.
- [4] 曹圣华,杨晓东,朱正坤,等. 瑞雷面波法用于软土地基勘察的试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2003,31(4):419-423.
- [5] 童立元,陈征宙,刘定恩,等. 瞬态瑞雷面波勘探技术在公路工程勘察中的应用[J]. 地质与勘探,2000,36(5):73-75.
- [6] 杜正涛,刘丽敏,程道伟,等. 瑞雷面波勘探技术在第四系分层方面的应用[J]. 物探与化探,1999,23(4):277-282.
- [7] 邹喜作. 瑞雷波在软土地基处理效果检测中的应用[J]. 地质找矿论丛,1999,14(2):82-86.