

西安市场地土的地震波速

1. 前言

为了给西安市地震小区划提供场地土的动力参数，我们采用应力波检层法，现场实测了西安市场地土的地震波速。击振方式为木板敲击法。使用的测试仪器为兰州地震研究所自行设计安装的孔内充气附壁探头，内装三分向DZJ5—71型地震小检波器，经701—5型测振放大器将信号放大后，采用SC—16线示波器紫外光记录。本文介绍了测试结果，根据测试结果，选用幂函数的形式，用最小二乘法原理统计得出了不同成因类型，不同地质时代土层 V_s 与其埋藏深度H之间的关系式，并给出了西安市区可液化砂类土 V_s 值与标准贯入 $N_{63.5}$ 值和土层埋藏深度H之间的关系式。

2. 测试结果

区划范围内可分为河谷冲积平原、黄土台塬和山前洪积平原三个主要地貌单元。由钻孔剖面 and 探坑剖面分析，地表以下100m深度内可见土壤地层，主要有人工填土、黄土状土、古土壤、淤泥质土、亚粘土、砂类土、卵砾石层七种。为取得各类土层地震波速值，我们在市区不同地貌单元上布设了84个勘探点（见图1）。表1列出了各类土层 V_p 、 V_s 的测试结果。图2为各类土层波速与埋藏深度的散点图。从图2中可以看出， V_s 、 V_p 随埋藏深度的增加都有一个缓缓增加的总趋势，其增加的情况和土的成因类型、地质时代、结构成分都有关系。根据波速随深度的这一变化趋势，我们选用了幂函数的形式，按最小二乘法原理统计建立了 V_s 值与土层埋藏深度H的变化关系，其形式为：

$$V_s = aH^b \tag{1}$$

式中a、b为待定常数。埋藏深度H的单位为m，取由地表到测层底部的垂直距离。对于地表测点，统计时深度取其层厚的三分之一。各类土层波速统计结果见表1。

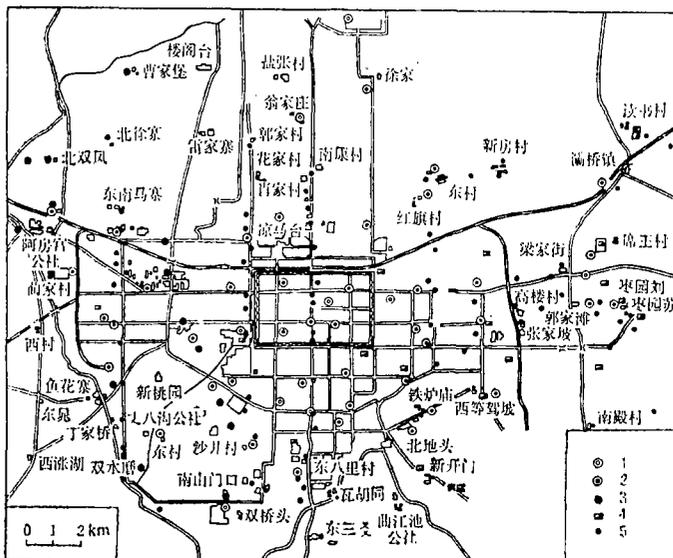


图1 西安市场地土波速测点位置图

- 1. 80—100m检层孔及编号
- 2. 50m检层孔及编号
- 3. 标准贯入孔及编号
- 4. 探井及编号
- 5. 地面测点及编号

表1 西安地区各类土的波速

土质类型	地质时代	波速范围值 (米/秒)	平均值 (米/秒)	统计公式	相关系数 (γ)	剩余标准 偏差(S)	误差 系数	统计深度 (米)	数据 组数
人工填土		$V_S: 90-270$ $V_P: 151-484$	$\bar{V}_S = 166$ $\bar{V}_P = 283$	$V_P = 2.244V_S^{0.942}$	0.91	38 66	0.23 0.23	0-9.3 0-9.3 0-9.3	131 86 86
	Q_4	$V_S: 137-365$	$\bar{V}_S = 203$	$V_S = 1463H^{0.198}$	0.57	48	0.24	0.9-13.0	19
	Q_3	$V_S: 115-470$ $V_P: 249-788$	$\bar{V}_S = 278$ $\bar{V}_P = 464$	$V_S = 1412H^{0.28}$ $V_P = 240H^{0.31}$ $V_P = 1.828V_S^{0.988}$	0.76 0.77 0.90	45 93	0.16 0.20	1.6-40.0 1.6-23.0 1.6-23.0	215 58 58
Q_2		$V_S: 279-484$	$\bar{V}_S = 364$	$V_S = 152.4H^{0.243}$	0.64	47	0.13	17.0-77.3	36
古土壤	Q_3, Q_2	$V_S: 215-453$	$\bar{V}_S = 329$	$V_S = 188.7H^{0.190}$	0.60	55	0.17	3.8-4.1	77
淤泥质土	Q_4, Q_3, Q_2	$V_S: 205-581$	$\bar{V}_S = 390$	$V_S = 87.7H^{0.382}$	0.84	50	0.13	9.7-100.0	66
亚粘土	Q_4	$V_S: 149-480$	$\bar{V}_S = 249$	$V_S = 137.3H^{0.254}$	0.68	47	0.19	2.4-62.7	48
	Q_3	$V_S: 205-645$	$\bar{V}_S = 323$	$V_S = 119.2H^{0.329}$	0.88	47	0.15	4.8-100.4	26
	Q_2	$V_S: 248-617$	$\bar{V}_S = 386$	$V_S = 110.7H^{0.346}$	0.83	48	0.12	20.0-100.5	50
砂类土	Q_4	$V_S: 125-392$	$\bar{V}_S = 259$	$V_S = 125.1H^{0.303}$	0.77	37	0.14	1.25-20.3	66
	Q_3	$V_S: 248-536$	$\bar{V}_S = 384$	$V_S = 146.1H^{0.272}$	0.76	53	0.14	8.0-100.0	46
	Q_2	$V_S: 273-606$	$\bar{V}_S = 427$	$V_S = 116.1H^{0.336}$	0.79	49	0.12	15.0-100.0	83
卵砾石层		$V_S: 348-670$	$\bar{V}_S = 497$					14.4-74.0	9

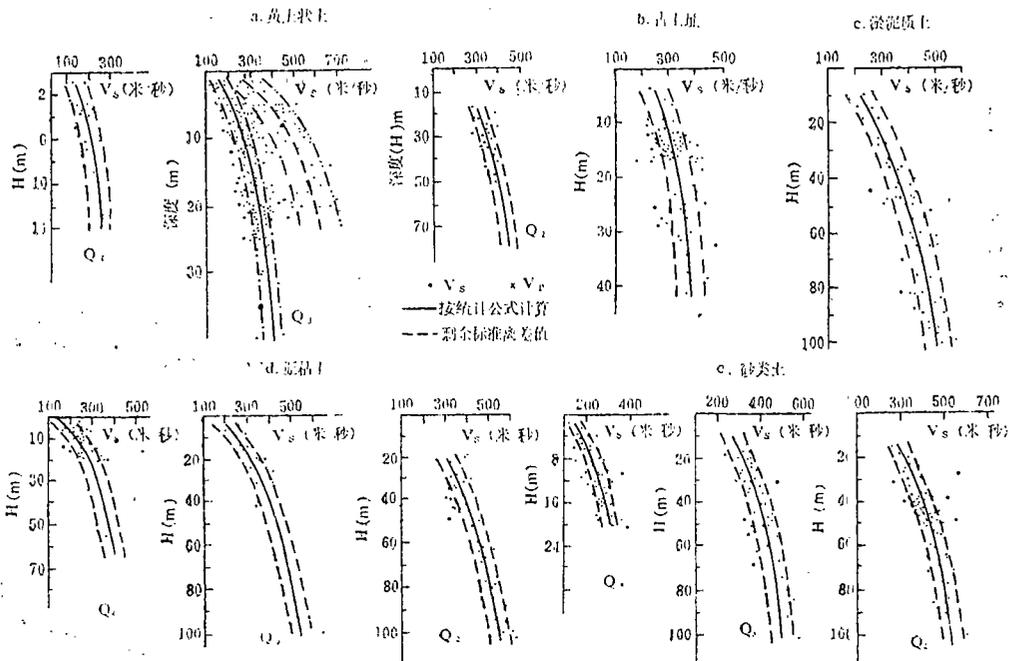


图2 各类土层 V_S 与埋藏深度(H)的关系

P波速度的测定主要在探坑中进行。大部分测点集中在人工填土和黄土状土(Q_3)层中。图3示出了人工填土和黄土状土(Q_3)层 V_p 与 V_s 的关系曲线。经回归计算得出了人工填土的 V_p 与 V_s 的关系为：

$$V_p = 2.244V_s^{0.942},$$

$$\text{相关系数 } \gamma = 0.91.$$

黄土状土(Q_3) V_p 与 V_s 的关系为：

$$V_p = 1.828V_s^{0.988}, \text{ 相关系数 } \gamma = 0.90.$$

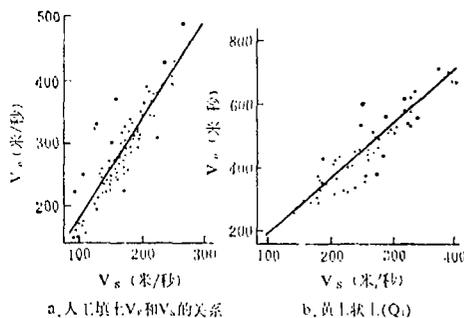


图3 人工填土及黄土状土(Q_3) V_p 与 V_s 的关系

由以上两式可以看出， V_p 随 V_s 增加而增大，几乎呈线性关系变化，说明二者具有良好的对应关系。

为进行西安市区场地土的液化危害性分析，我们根据宏观手段的初判结果，分别在市区西部的古河道及西北部一级阶地等处有饱和砂土、轻亚粘土层存在的地貌单元上，布置了14个20m深的标准贯入试验勘探孔。并在孔内同时作了标准贯入试验和S波检层测试。对现场试验结果进行回归统计，得出了可液化土层的剪切波速(V_s 值)与实测标准贯入 $N_{63.5}$ 值及土层埋藏深度H的二元关系式：

$$V_s = 105 + 1.25N_{63.5} + 7.87H \quad (2)$$

全相关系数 $R = 0.99$ ，标准离差 $S = 7.02$ 。 R 值趋向1， S 值很小，表明 V_s 与 $N_{63.5}$ 、 H 值具有良好的对应关系，(2)式成立。

3. 小结

(1) 西安市区场地土波速统计分析结果表明，不仅不同土质类型土层的 V_s 值明显不同，而且不同地质时代土层的 V_s 也有明显变化。土层的地质时代反映了土粒间的结合程度，即同一土质类型土层的沉积年代越久，土粒间的结合越紧密， V_s 值就愈高。

(2) 各类场地土的 V_s 值随土层的埋藏深度增加而缓慢增大的趋势明显，这一趋势是建立各类土相关统计的基础。

(3) 在地震工程中，运用场地土的密度和地震波速值计算场地土在小应变量下的动力参数是一种简便易行的工作方法。

(4) 由于土层的波速值有一定的离散性，有时离散性很大，所以各类土的统计式及公式(2)具有地区性，对重大工程应现场实测地震波速。

西安市勘探孔的施工和标准贯入试验是由西安市勘察测绘院完成的。笔者与孙崇绍参加了全部现场波速测试工作，此外，兰州地震研究所的蒋祖森、张树清、曾勇、林学文、王兰民等及西安市勘察测绘院的高光涛、聂振斌二同志参加了部分测试工作。

(本文1987年10月17日收到)

(国家地震局兰州地震研究所 李藩文)

参 考 文 献

- [1] 首培德等，地震波在工程中的应用，地震出版社，1982。
- [2] 王钟琦等，地震工程地质学，地震出版社，1983。
- [3] 田治米辰雄等(日)，地基与震害，张振中等译，地震出版社，1980。
- [4] 中国科学院数学研究所统计组，常用数理统计方法，科学出版社，1979。

THE SEISMIC WAVE VELOCITY OF SITE SOIL IN XI'AN

Li Fanwen

(The Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB)