

2005年11月26日九江—瑞昌 地震场地影响的初步分析¹

吕红山¹⁾ 卢福水²⁾ 王建荣²⁾ 李俊福³⁾ 俞言祥¹⁾

1) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

2) 江西省地震局, 南昌 330039

3) 江西省瑞昌市科技局, 瑞昌 333200

摘要 分析了2005年11月26日九江—瑞昌地震震害与当地工程场地条件间的关系, 结果表明: 当地工程地质条件复杂, 水平向变化大, 软土发育, 存在溶洞, 是此次地震灾害严重的一个重要原因。灾后重建应开展地震小区划工作, 为抗震设防提供科学依据。

关键词: 九江—瑞昌地震 场地条件 地震小区划

引言

2005年11月26日08点49分九江县与瑞昌市交界处发生5.7级地震, 根据中国地震局、江西省地震局地震现场科学工作队考察结果, 地震受灾范围主要涉及江西省瑞昌市、九江县以及湖北省黄梅县、武穴市。另江西南昌市、九江市、彭泽县、星子县、德安县、永修县、武宁县、修水县以及湖北省通山县、阳新县以及安徽省宿松县、望江县等地震感强烈, 湖南长沙、湖北武汉等地也有感。地震灾情严重, 共造成13人死亡, 重伤67人, 轻伤546人。该地震是1806年江西会昌发生6级地震以来, 江西境内震级最大、死亡人数最多、损失最大、灾害最严重地震²。

该次地震破坏严重的度区是环绕塞湖周围的乡镇, 湖北省震区破坏严重的乡镇也在长江岸边。赛湖农场和其它几处发现喷砂冒水、砂土液化等现象。此次地震还造成多处地面塌陷。

本文根据灾区工程地质条件调查资料, 对场地条件对此次地震灾害的影响作了初步分析。

1 中国地震局地球物理研究所论著号 06AC 2005

2 中国地震局、江西省地震局地震现场科学工作队, 2005. 九江—瑞昌 5.7 级地震现场科学考察报告.

[收稿日期] 2006-01-14

[作者简介] 吕红山, 男, 生于1968年。博士, 中国地震局地球物理研究所副研究员。主要从事城市减灾和工程地震研究。

E-mail: lhs361@yahoo.com.cn

1 九江—瑞昌灾区的工程地质条件初步分析

灾区位于庐山西侧、长江边缘冲积平原上，地势相对平坦，降水充足。为分析震害与场地条件的关系，搜集了部分工程地质勘测资料。初步调查仅在江西瑞昌市区范围内进行。所搜集的勘查钻孔为一般性工程钻孔，绝大多数钻孔深度小于 20m，未进行剪切波速测试。通过对目前收集到的瑞昌市区范围内的岩土地质工程勘察资料的初步分析，灾区范围内主要为中更新世至全新世冲积、洪积的粉土、粉质粘土、粉砂和细砂、中砂第四纪沉积盖层。地下水位埋深为 0—4m，大多属中软场地土，部分灰岩地区溶洞发育。瑞昌地区河湖密布，有河湖漫滩冲淤积相地貌单元，也有岗丘坳沟山谷洪流坡积地形地貌。岩土层自上而下，大致依次可以划分为下述工程地质单元。

层人工杂填土

组分较杂，结构松散，未压实，孔隙发育，不稳定，强度低。

层粉土或粉砂

浅黄色，松软-松散，呈可塑-软塑状，干强度中-低，韧性低，具高-中压缩性，地基强度低，可能发生地震液化。

层淤泥质粉质粘土或粉土

多分布在河湖及水塘附近。灰黑色，松软，呈可塑-软塑状，干强度中-低，韧性低，具高-中压缩性，地基强度低，可能发生地震液化。

层砾砂-圆砾

稍密-中密，局部有灰岩漂石，圆砾磨圆度中等，多呈次圆状，中-低压缩性，地基强度较高，为区内较好持力层。

层粘土砾卵石

部分地区分布，砖红色-浅黄色，粘土约占 30—40%，砾卵石 50%，强度较高，但在部分地区发现有土洞存在。

层灰岩

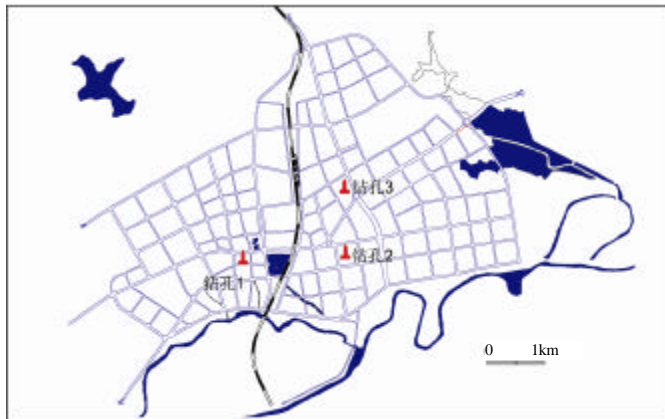


图 1 瑞昌典型工程地质勘探钻孔位置示意图

Fig. 1 Distribution map of the boreholes in Ruichang city

本地区连续分布，厚度大，灰白色青灰色，致密，具微风化，强度高，部分钻孔揭示存在溶洞，因钻孔深度多小于 30m，未揭穿此层。

本文给出了瑞昌市内 3 个典型工程地质勘探钻孔柱状图，图 1 为钻孔位置示意图。图 2 所示钻孔接近此次瑞昌地震重灾区之一的老正街，从此钻孔柱状图分析，表层的杂填土、淤泥质粉质粘土结构松散，为软土。图 3 所示钻孔位于瑞昌市民中心广场，此孔揭示有溶洞存在。图 4 所示钻孔位于瑞昌市北部，钻孔间相距不远，大约在 1.5km 左右。

层号	层底深度 (m)	层深 (m)	层底标高 (m)	柱状图比例 1:400	岩土名称及性质描述
1	1.50	1.50	-1.50		杂填土：组分较杂，结构松散，不稳定。
2	5.00	3.50	-5.0		粉土：浅黄色，松软-松散，可塑-软塑。
3	9.00	4.00	-9.00		淤泥质粉质粘土：灰黑色，松软，可塑-软塑。
4	11.80	2.80	-11.80		圆砾：稍密-中密，顶部以砾砂为主，局部夹有灰岩大漂石。
5	18.80	7.00	-18.80		卵砾石：砖红色-浅黄色，稍密。
6	20.00	1.20	-20.00		灰岩：灰白色、青灰色，致密块状，微风化。

图 2 瑞昌工程地质勘探钻孔之一

Fig. 2 Borehole profile 1 in Ruichang city


层号	层底深度 (m)	层深 (m)	层底标高 (m)	柱状图比例 1:400	岩土名称及性质描述
1	12.00	12.00	3.60		粉质粘土：灰褐、褐黄色、饱和，可塑，上部 0.5m 为耕植土。
2	14.60	2.60	1.00		粉质粘土：同上。
3	17.80	3.20	-2.20		圆砾：褐黄、灰褐色，稍密。
4	21.00	3.20	-5.40		含砾粉质粘土：土红、棕红色，软塑-可塑。
5	36.00	15.00	-20.40		灰岩：灰白，肉红色，中等风化。

图 3 瑞昌工程地质勘探钻孔之二

Fig. 3 Borehole profile 2 in Ruichang city

从这些钻孔勘探结果看，瑞昌地区工程地质条件复杂，地表水系、水体和软土发育，场地工程地质条件在空间水平方向上变化较大。


层号	层底深度 (m)	层深 (m)	层底标高 (m)	柱状图比例 1:600	岩土名称及性质描述
1	6.00	6.00	9.60		粉质粘土：灰褐、褐黄色、饱和，可塑。
2	16.50	10.50	-0.90		圆砾：褐黄、灰褐色，稍密。
3	24.30	7.80	-8.70		含砾粉质粘土：土红、棕红色，软塑-可塑。
					灰岩：灰白、肉红色，中等风化。

图 4 瑞昌工程地质勘探钻孔之三

Fig. 4 Borehole profile 3 in Ruichang city

3 关于土层放大作用与震害关系的初步分析

对国外的强震记录分析表明，场地土对基岩地震动有放大作用，尤其是软土对地震动有较强的放大作用。按照美国 NEHRP 规范，在此规范中则将场地分为 A、B、C、D、E 和 F 等 6 类。此规范规定，场地分类使用地下 30m 深度范围内的土层等效剪切波速作为指标，而土层等效剪切波速的计算方法与我国抗震设计规范的规定相同。其中 A 类是指坚硬的岩石，实测的剪切波速为： $V_s > 1500\text{m/s}$ 。B 类是岩石，其剪切波速为： $760\text{m/s} < V_s < 1500\text{m/s}$ 。C 类是剪切波速平均值为： $360\text{m/s} < V_s < 760\text{m/s}$ 的土类。D 类是剪切波速为： $180\text{m/s} < V_s < 360\text{m/s}$ 的土类。E 类则是土层剖面的剪切波速为： $V_s < 180\text{m/s}$ 的土类。F 则是指要求场地专门评价的土层 (FEMA, 2003)。

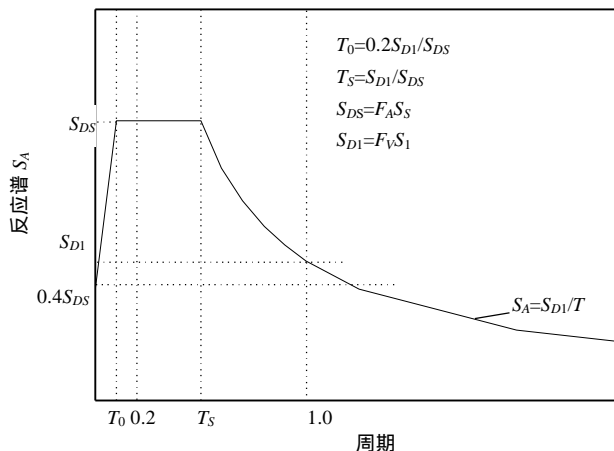


图 5 NEHRP 中规定的设计反应谱曲线

Fig. 5 Design response spectra curve

同时 NEHRP 规范还规定了不同场地的场地规范谱，与我国抗震规范规定的设计谱不同的是，在 NEHRP 规范中不仅调整设计反应谱的特征周期，还调整设计反应谱的平台。设计谱形式如图 5 所示，其中 S_S 设为 0.2 或 0.3 秒的反应谱值， S_1 设为 1.0 秒的反应谱值(FEMA, 2003)。场地上的反应谱用下列公式确定：

$$PGA_i = F_{A_i} \cdot PGA$$

$$S_{S_i} = F_{A_i} \cdot S_S$$

$$S_{1_i} = F_{V_i} \cdot S_1$$

$$T_{g_i} = \frac{F_{V_i}}{F_{A_i}} \cdot T_g$$

$$T_g = \frac{S_1}{S_S}$$

其中 PGA 、 S_S 、 S_1 和 T_g 分别是 B 类场地（就是基岩场地）的加速度峰值、反应谱短周期（0.2 或 0.3 秒，即反应谱平台值）的值、1 秒周期反应谱值和特征周期。乘上不同场地的放大系数 F_A 和 F_V 就得到不同场地的反应谱值，不同场地的 F_A 和 F_V 如表 1 所示。NEHRP 关于场地反应谱的规定是在大量强震观测、土动力试验及土层地震反应数值模拟分析研究的基础上取得的结果，基本反映了当前对土层地震反应特性的科学认识水平（Dobry, R., 2000）。

表 1 NEHRP 中规定的短周期放大系数 F_A 和 1 秒周期放大系数 F_V

Table 1 Site coefficients in NEHRP

场地类型	基岩短周期地震动放大系数 F_A				
	$S_S = 0.25$ (0.1g)*	$S_S = 0.5$ (0.2g)*	$S_S = 0.75$ (0.3g)*	$S_S = 1.0$ (0.4g)*	$S_S = 1.25$ (0.5g)*
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	
场地类型	基岩 1 秒周期地震动放大系数 F_V				
	$S_1 = 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	

*：表中括号内的数值是基岩地震动加速度峰值。

通过对比中美两国场地分类标准，中国规范中规定的 I 类场地包含了美国的全部 A 类、B 类和部分 C 类场地，中国的 II 类场地则介于美国的 C 类和 D 类之间，中国的 III 类场地则介于美国的 D 类和 E 类之间，中国的 IV 类场地则全为美国的 E 类场地。在 I 类场地（基岩）输

入小于 0.1g 的情况下, I 类场地的对短周期段的放大系数可能在 1.4 左右, II 类场地的对短周期段的放大系数可能在 2.1 左右, III 类场地对短周期段的放大系数可能在 2.5 左右。假设 I 类场地地震动加速度为 50gal (相当于 VI 度), 同样震级距离情况下 II 类场地的地震动加速度则可能为 70gal (相当于 VI 度), III 类及 IV 类场地的地震动加速度则可能为 110 gal 和 125gal (相当于 VII 度), 此种情况下同样建筑在 III 类及 IV 类等软弱场地上的震害会比 I 类或 II 类场地上的震害重 (Dobry R., 2000)。

此次地震灾区大量居民点位于湖边和河滩上, 根据前后对灾区工程地质条件的分析, 软土和淤泥广泛分布, 居民自建住房多将基础置于软土层上, 由于缺少抗震防护意识, 建筑有缺陷且对地基处理不良, 在此次瑞昌地震中破坏较为严重, 震害空间分布与上述因素密切相关¹。

根据上述分析, 在本地区分布的软土场地, 在此次地震中可能对地震动, 特别是短周期段地震动 (瑞昌地区绝大多数建筑在 6 层以下, 自振周期较短) 有较强的放大作用, 这可能是此次地震中像瑞昌老正街这样的地区灾害较重的原因。

4 关于地震塌陷的初步解释

该次地震造成多处地面塌陷, 具体统计数据见表 2。塌陷大多呈现为圆、浑圆或椭圆形, 最大直径为 25m, 可见深度最大达 6m, 均处在灰岩基岩之上。该地区地下水位高, 水量充沛, 灰岩在水力作用下易生成溶洞, 从上述该地区的工程地质勘探情况看, 确实发现了溶洞。地下溶洞在地震作用下可能变形坍塌, 丧失承载力, 引起地面塌陷。溶洞的存在, 可能是此次瑞昌地震中发生地震震陷的原因。

表 2 震区主要塌陷统计表

Table 2 Statistics of the major ground sinks in the earthquake region

编号	地 点	几何形态	直径 (m)	数量 (个)	可见深度 (m)	基 底 岩 性
1	瑞昌市桂林办事处石山村	浑 圆	3—25	8	2—5	灰 岩
2	瑞昌市桂林办事处大塘村	圆 形	2—10	22	2	灰 岩
3	瑞昌赛湖农场二分场	浑 圆	6—20	4	6	灰 岩
4	瑞昌市高丰镇永丰村	圆 形	2—4	2	2	灰 岩
5	瑞昌市高丰镇乐丰村	圆 形	2—6	5	1	灰 岩
6	瑞昌市高丰镇铺头村	圆 形	2—4	2	1.5	灰 岩
7	九江县涌泉乡涌泉村	圆 形	2—4	2	1	灰 岩
8	九江县涌泉乡黄洞村	椭圆形	2—4	9	1	灰 岩
9	瑞昌市盆城街办汪家圩	圆 形	2—15	4	0.3—4	灰 岩

5 建议

瑞昌地区工程地质条件复杂, 对工程建设的不利因素较多。冲淤积和洪积形成的软土分布广泛, 强度低, 承载力弱, 此类软土可对地震动有较强的放大作用, 同时岩土性质水平向

1 同 63 页页下注 2。

变化大。这次地震虽然震级不大，但造成严重损失，除了当地建筑结构不抗震，场地条件差也是一个重要因素。该地区处于灰岩地区，有溶洞发育，溶洞的存在可能是造成地表陷坑的原因。

此次地震也反映出该地区由于没有开展地震小区划工作，未能事前加强防御，对地震灾害未做到防患于未然。为了避免将来该地区重灾现象的重演，在震后重建时，应开展地震小区划工作，特别是针对当地复杂的工程地质场地条件，进行较详细的工程地质勘查，针对局部场地条件对场地地震安全性的影响做出科学评价，为灾区重建及未来建设的抗震设防提供科学的设计参数。

致谢

感谢瑞昌市城市建筑设计院为本文提供了工程地质勘查资料。

参考文献

- Dobry R., R. Borcherdt, C. Crouse, I. Idriss, W. Joyner, G. Martin, M. Power, E. Rinne and R. Seed, 2000. New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions. *Earthquake Spectra*, **16**, 41-67.
- FEMA, 2003. NEHRP, Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. Building Seismic Safety Council (BSSC), FEMA 450/451, Part 1 (Provisions) and Part 2 (Commentary).

Preliminary Study on Site Effect and Damage by Jiujiang-Ruichang Earthquake of 26 November, 2005

Lu Hongshan¹⁾, Lu Fushui²⁾, Wang Jianrong²⁾, Li Junfu³⁾ and Yu Yanxiang¹⁾

1) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081

2) Earthquake Administration of Jiangxi Province, Nanchang 330039

3) Scientific and Technologic Bureau of Ruichang City, Jiangxi Province, Ruichang 333200

Abstract Through analysis of relation between the site condition and the earthquake damage of Jiujiang-Ruichang earthquake, we found that the soil condition is characterized by soft soil, caves with variation at different areas in the earthquake zone. Such a complicated site condition is a main factor that causes serious building damage in Jiujiang-Ruichang earthquake. It is important to carry out the seismic micro-zonation work in the future, which may provide scientific base for anti-earthquake countermeasures.

Key words: Earthquake damage; Site condition; Soft soil