

# 冰碛土工程性能的研究

谢春庆<sup>1,2</sup>

(1, 西南交通大学土木工程学院, 成都, 610031; 2, 成都军区空军勘察设计院, 成都, 610004)

**摘 要:**本文以川西某机场为例,研究了冰碛土的工程性能,研究成果满足了工程设计的要求,对同类地基研究具有重要的参考意义。

**关键词:** 冰碛土; 川西; 工程性能

**中图分类号:** TU43

**文献标识码:** A

## 1 前言

随着国家经济的发展,拟在山区的重点建设越来越多,跨越或直接建在冰碛土上的重点建筑也随之增加。而目前关于冰碛土工程性能研究很少,其成果也鲜见报道。本文以川西某机场为例,系统地研究了冰碛土的工程性能,对同类地基研究具有重要的参考意义。

## 2 工程概况

拟建的某机场位于四川西部,跑道长 4 000 m,道面宽 45 m,两侧土面区宽 120 m,为现代化 4D 级机场。场区全部位于海螺沟( $Q_3^{agl+egl}$ )和南门关( $Q_3^{gl}$ )冰期的冰碛土上。场地具有地形地貌复杂,微地貌单元多(冰碛垄岗、融溶凹地、冰碛台地、阶地陡坎、冰碛湖、刨蚀沟等)、堆积物质成分复杂的特点。工程填方量 2 000 余万方,填方高度 40 余米,为典型的深挖高填机场。

## 3 工程性能研究

### 3.1 地层特征

场区及附近广泛分布第四系海螺沟( $Q_3^{agl+egl}$ )和南门关( $Q_3^{gl}$ )冰期冰碛层,总厚度大于 80 m。堆积物基本上由块石、碎石、角砾和砂土等混杂组成,粒度不均一,分选性差,无层理。各土层特征如下:

(1)块石:架空结构,局部呈半镶嵌接触。块石

由黑云母花岗岩组成,粒径变化大,一般直径 20 ~ 180 cm,最大可达 300 cm 以上,多呈次棱角状,块石间局部充填少量碎石,固体体积率 63.4% ~ 81.15%,干密度 1.58 ~ 2.25 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>,空隙率 11.26% ~ 37.54%。该层分布基本与地表水体一致而形成“石河”;试坑中揭露地表分布区的厚度 0.4 ~ 1.4 m。

(2)碎石:浅黄色或灰白色,中密~密实,以密实为主,稍湿~饱和。主要由等粒和似斑状黑云母花岗岩构成。呈次棱角状、多为微风化~中风化,一般粒径 1.5 ~ 20 cm,约占 50% ~ 65%;料径 > 20 cm 块石约占 3% ~ 10%,呈零星分散状。多呈骨架结构,骨架间多为角砾、砾砂和少量粉细砂充填。该层在场区广泛分布,厚度大且稳定,自重固结较好,为主要的土层之一,其 N120 动力触探锤击数一般为 10 ~ 35 击,表明密实度高,但极不均匀。钻孔揭露最大厚离 26.51 m,最小厚度 0.40 m,平均厚度 6.00 m。

(3)角砾:灰白、褐黄色,以中密为主,稍湿或饱和。成分为黑云母花岗岩,呈棱角状或次棱角状,粒径为 0.2 ~ 2 cm 粒级约占 55% ~ 70%,粒径 < 2 cm 碎石约占 5% ~ 15%, < 0.2 cm 的约占 10% ~ 30%,偶见零星块石。该层多呈不规则透镜体分布或薄层分布于碎石层中,全场区钻孔中局部揭见,分布极不均匀,一般厚 0.4 ~ 16.55 m。根据 N120 动力触探试验和浅坑对比,锤击数一般为 5 ~ 8 击。

(4)砾砂:浅灰或黄色,稍密~中密,以稍密为主,局部可达中密,稍湿~饱和。由花岗岩风化碎裂岩屑、石英、长石颗粒组成,级配较好,以 0.05 ~ 2 cm

收稿日期:2002-07-14。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40061006)《云南金沙江流域水土流失与土地利用安全格局研究》。

作者简介:谢春庆(1963-),男,四川大邑人,工程师,西南交通大学在读博士后,地质工程、道路与铁道工程专业。

粒径为主,含量经 60%~70%,次为粉粒、细砂,少量的角砾。场区仅局部分布,呈极不规则状见于碎石层中,其 N120 动力触探锤击数一般为 3~6 击。钻孔揭露最大厚度 3.6 m,最小厚度 0.20 m,平均值为 1.49 m。

(5)中砂:浅灰或黄色,稍密,稍湿。 $<0.25\text{ mm}$  粒组约 70%~75%,含 2~8 mm 的角砾约 10%~15%,局部夹厚约 20 cm,粒径 20~40 cm 的碎石薄层。

海螺沟( $Q_3^{agl+egl}$ )和南门关( $Q_3^{ld}$ )冰期的冰碛土相比较:①二者物质成分相同;②海螺沟冰碛物中块石、碎石分布面积广,厚度大;角砾、砾砂分面积

小,厚度小;③同一种土中,海螺沟冰碛物颗粒较粗,粗颗粒含量约高 5%~20%。

### 3.2 物理性质特征

对冰碛土物理性质的研究采用室内矿物成分分析、有机质含量和腐蚀性分析及现场的大型干密度测试、颗料分析、固体体积率和空隙率测试、水文地质试验等。

#### 3.2.1 矿物成分、有机质含量、腐蚀性

冰碛土物质来源为场区东侧的折多山,岩石成分为黑云母花岗岩,含多种矿物成分,主要为石英、钾钠长石等,表 1 为其分析结果。

表 1 冰碛土矿物成分分析结果

| 化学组分  | $SiO_2$     | $Al_2O_3$   | $K_2O$    | $Na_2O$   | $F_2O$    | $CaO$     | $N_2O$    | $F_2O$    | $MnO$     | $TiO_2$  |
|-------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 含量(%) | 72.36~73.61 | 14.10~14.50 | 4.32~5.36 | 2.92~3.02 | 1.03~1.47 | 0.87~1.15 | 0.44~0.66 | 0.39~0.50 | 0.30~0.06 | 0.2~0.25 |

冰碛土易溶盐含量 0.05%~0.90%,能满足填料要求,但有机质含量试验颜色深于标准色,不能作为砂建材;按《岩土工程勘察规范》(GB50021-94)判断,冰碛土对混凝土结构无腐蚀性,对混凝土土中钢筋无腐蚀性,对钢结构有弱腐蚀性;

#### 3.2.2 密度

密度的测试采用探坑灌水法测定。具体方法是探坑挖成后,铺厚层塑料薄膜,灌水量取探坑体积。挖出的土的总重量除以探坑体积即为土的密度。由于测试的探坑中不含水,冰碛土中含水量极低( $>0.5\%$ ),故所测试冰碛土的密度可视作干密度,可作为地基处理时的控制密度。表 2 为密度测试结果。

从表 2 中可见,冰碛土中碎石干密度一般  $>2.0\text{ g/cm}^3$ ,个别  $<1.8\text{ g/cm}^3$ ,较密实均匀,为良好的天然地基。块石密变化较大,均匀性差,架空结构,需作专门的处理。

#### 3.2.3 固体体积率试验

固体体积率试验主要在架空结构的块石区进行。架空结构块石层目前无法进行动力触探试,载荷试验困难大,且代表性差,意义不大。为此,挖探坑,描述块石的结构,同时,称重,量取探坑体积(灌水法),计算固体体积率((探坑中土体总重量/岩石块体密度)/探坑总体积=固体体积率)和空隙率( $=1-\text{固体体积率}$ ),为地基处理提供必要的资料。场区架空结构块石固体体率 0.62~0.85。

#### 3.2.4 颗料级配

颗粒级配是反映土体结构的重要方式,为测试

场区的冰碛土的级配,在现场完成了 20 余组大型的颗粒分析试验,表 3 为其中部分试验结果。

表 2 干密度试验成果统计表

| 时代成因        | 土名称 | 取样深度(m) | 干密度( $\text{g/cm}^3$ ) |
|-------------|-----|---------|------------------------|
| $Q_3^{agl}$ | 角砾  | 0.3~2.7 | 2.30                   |
| $Q_3^{ld}$  |     | 0.6~2.1 | 2.18                   |
| $Q_3^{ld}$  | 碎石  | 0.3~3.8 | 2.21                   |
|             |     | 0.2~2.8 | 2.22                   |
|             |     | 0.3~2.8 | 1.76                   |
|             |     | 0.1~3.6 | 2.20                   |
|             |     | 0.4~3.9 | 2.47                   |
| $Q_3^{ld}$  | 块石  | 0~1.2   | 1.58                   |
|             |     | 0~1.1   | 1.67                   |
|             |     | 0~1.3   | 2.25                   |
|             |     | 0~1.0   | 2.24                   |
| $Q_3^{agl}$ | 块石  | 0~1.4   | 1.66                   |
|             |     | 0~1.1   | 2.17                   |
|             |     | 0~1.2   | 1.94                   |

用颗分试验资料计算,碎石、角砾不均匀系数  $>278$ ,曲率系数  $>1.1$ ,结合表 2 判断,其级配良好,可作天然填料。

#### 3.2.5 水文地质试验

水文地质试验的目的是获取场区冰碛土的渗透系数、单井出水量,判断其透水能力、是否发生渗透破坏、能否作为机场供水水源,确定含水部位的地其处理方式等。通过场区水文孔和大量干钻孔确定场区北部饱和土层 0~9m,一般 6~7 m,中部饱和土层厚 0~16 m,一般厚 7~10 m。试验表明冰碛土渗透系数 0.03~3.7m/d,影响半径 3.07~8.84 m,渗透性

表3 颗粒分析结果表

| 时 代<br>成 因 | 样 品<br>编 号      | 土 样<br>名 称 | 取样深度<br>(m) | 颗 粒 分 析 结 果 (%) |           |        |          |           |           |
|------------|-----------------|------------|-------------|-----------------|-----------|--------|----------|-----------|-----------|
|            |                 |            |             | 0.0005 ~ 0.074  | 0.074 ~ 2 | 2 ~ 20 | 20 ~ 200 | 200 ~ 400 | 400 ~ 600 |
| $Q_3^{lg}$ | K <sub>1</sub>  | 碎石         | 0.3 ~ 2.8   | 4.5             | 24.0      | 31.0   | 40.5     |           |           |
| $Q_3^{ag}$ | K <sub>2</sub>  | 碎石         | 0.3 ~ 1.7   | 11.5            | 25.5      | 24.0   | 28.0     | 6.0       | 5         |
| $Q_3^{lg}$ | K <sub>3</sub>  | 角砾         | 0.1 ~ 0.6   | 6.0             | 46.0      | 42.5   | 5.0      |           |           |
|            | K <sub>4</sub>  | 碎石         | 0.4 ~ 0.7   | 16.0            | 26.0      | 25.0   | 33.0     |           |           |
| $Q_3^{ag}$ | K <sub>5</sub>  | 碎石         | 0.2 ~ 1.8   | 10.5            | 17.5      | 36.0   | 15.0     | 4.0       |           |
|            | K <sub>6</sub>  | 碎石         | 0.3 ~ 1.8   | 9.0             | 24.0      | 24.5   | 24.5     | 7.0       | 11.0      |
| $Q_3^{lg}$ | K <sub>7</sub>  | 角砾         | 0.6 ~ 2.1   | 17.0            | 28.0      | 29.0   | 24.0     | 2.0       |           |
| $Q_3^{ag}$ | K <sub>8</sub>  | 碎石         | 0.1 ~ 1.6   | 8.0             | 23.5      | 19.5   | 38.5     | 7.5       | 3.0       |
| $Q_3^{lg}$ | K <sub>9</sub>  | 碎石         | 0.2 ~ 1.6   | 4.0             | 18.5      | 20.0   | 57.5     |           |           |
| $Q_3^{lg}$ | K <sub>10</sub> | 角砾         | 0.3 ~ 0.9   | 15.5            | 20.0      | 22.0   | 42.5     |           |           |
|            | K <sub>11</sub> | 碎石         | 0.4 ~ 1.9   | 19.5            | 21.5      | 24.5   | 24.0     | 3.5       | 7.0       |
| $Q_3^{ag}$ | K <sub>12</sub> | 角砾         | 0.3 ~ 1.8   | 17.0            | 27.5      | 42.0   | 13.5     |           |           |
| $Q_3^{lg}$ | K <sub>3</sub>  | 碎石         | 0.3 ~ 2.1   | 6.5             | 23.0      | 19.5   | 33.0     | 9.5       | 8.5       |
|            | K <sub>4</sub>  | 石碎         | 0.2 ~ 2.2   | 8.5             | 21.0      | 19.5   | 32.5     | 12.5      | 6.0       |

注:颗粒粒径单位为 mm。

差,为弱透水层,且随深度增加,含水量降低,渗透微弱,构成场区相对隔水层,不能作为供水水源。场区内地下水水力坡度  $I = 0.084 \sim 0.10$ , 小于允许水力坡度 0.43,对砂土无渗透破坏,对地基土潜蚀作用微弱。

### 3.3 力学特征

对力学特征研究采用动力触探、载荷试验、标贯试验、抗剪试验等。

#### 3.3.1 承载力、变形特征

动力解探试验不仅可以获取冰碛土的承载力、变形模量,而且还可以判断地基的均匀性。由于冰碛土动力触探无现成的公式、表格可查,为此在不同的地貌部位设计了 8 组静载荷试验,以对比、修正动力触探成果。方法是在静载荷试验点下,进行动力触探(N63.5、N120),尔后开挖,以描述冰碛土结构。通过试验表明①场区属典型的不均匀地基,勘察须加密钻孔,准确地判断冰碛层密实度及变化规律;② N120 动力触探击数(剔除  $> 50$  击值及异常值),按国家规范修正后,其值按西南勘察研究院 N120 动探暂行规定查表获得的承载力标准值约为载荷试验获取允许承载力的 1/2,符合规范要求,可作为场区冰碛土承载力的主要获取手段。③综合动力触探、载荷试验成果,获取冰碛土中碎石承载力标准值 500 ~ 830 kPa,变形模量 16 ~ 28 MPa;砾砂承载力标准值

180 ~ 250 kPa,变形模量 13 ~ 18 MPa。

#### 3.3.2 抗剪性

场区范围内陡坎稳定,一般高度 5 ~ 20 m,坡度  $20^\circ \sim 42^\circ$ ,与文献<sup>[1]</sup>中室内剪切试验(试样尺寸  $D = 30$  cm,干密度  $= 2.06 \sim 2.16$  g/cm<sup>3</sup>)获取瀑布沟灯影组白云岩风化山麓冰川沉积物内摩擦角  $\phi = 32^\circ \sim 43.7^\circ$  较一致。现场大剪试验获取碎石和角砾的内摩擦角  $\phi = 25^\circ \sim 62^\circ$  (由于受机场区内冰碛土中大粒径的碎石的影响,测试值波动很大)。综合上述,可以判断该机场工程中采用冰碛土内摩擦角  $20^\circ \sim 30^\circ$  是有足够安全系数的,人工边坡(分极放坡)采用坡度 1:1.5 ~ 1.75 是可靠的。

## 4 结论与建议

冰碛土一般为碎石类土,分布不均匀,层位变化大,为典型的不均匀地基。但总体上干密度大,密实度较高,具有低渗透性,高承载力、低变形、抗剪能力高的工程性能,为良好的天然地基。

### 参考文献

- [1] 屈智炯.冰碛土微观结构、应力应变特性及模型研究[J].岩土工程学报.1992.N.6.
- [2] 何迎红,屈智炯,等.结构对冰碛土应力-应变特性影响[C].岩土力学新分析方法讨论会议论文集.1989~12.

## The Engineering Properties of Moraine

XIE Can-qin

(*Department of Engineering Geology, Jiaotong University of South-east, Chengdu, 610031 China*)

**Abstract:** The engineering properties of moraine is researched systematically based on a airport in the west Sichuan province as example, which is instructive to studying the similar foundation.

**Key words:** moraine the west Sichuan province engineering properties