

ICS 93.060

CCS P 66

DB 14

山 西 省 地 方 标 准

DB 14/T 3506—2025

## 黄土地区公路加筋土桥台技术规范

2025 - 07 - 10 发布

2025 - 10 - 10 实施

山西省市场监督管理局 发 布

# 目 次

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 前言 .....                | II |
| 1 范围 .....              | 1  |
| 2 规范性引用文件 .....         | 1  |
| 3 术语和定义 .....           | 1  |
| 4 基本规定 .....            | 2  |
| 5 材料 .....              | 2  |
| 6 勘察设计 .....            | 3  |
| 7 施工 .....              | 7  |
| 8 质量检验和验收 .....         | 9  |
| 附录 A（规范性） 荷载计算 .....    | 12 |
| 附录 B（规范性） 外部稳定性验算 ..... | 13 |
| 附录 C（规范性） 内部稳定性验算 ..... | 18 |

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对本文件的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西交通科学研究院集团有限公司、武汉大学、山西省智慧交通实验室有限公司。

本文件主要起草人：张军、郑烨炜、孙志杰、郑俊杰、赵紫阳、郭文灏、杨烜宇、贾亚飞、邓嘉隆。

# 黄土地区公路加筋土桥台技术规范

## 1 范围

本文件规定了黄土地区公路加筋土桥台的术语和定义、基本规定、材料、勘察设计、施工、质量检验和验收等方面的技术要求。

本文件适用于黄土地区二级公路以下的加筋土桥台建设。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 50290 土工合成材料应用技术规范

JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范

JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

JTG/T D31-05 黄土地区公路路基设计与施工技术规范

JTG/T D32 公路土工合成材料应用技术规范

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

TB 10303 铁路桥涵工程施工安全技术规程

DB14/T 3239 湿陷性黄土地区公路地基处理技术规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 筋土复合体

由竖向间距不大于30 cm的多层土工合成材料和分层压实填料组成的加筋土复合结构。

### 3.2

#### 加筋土桥台

由筋土复合体与墙面等构成的桥台或桥台的一部分，同时支承桥梁上部结构和引道路基，并承担桥梁、路基及挡土体水平荷载的加筋土桥台，与桥梁上部结构和引道路基共同构成桥梁系统。

### 3.3

#### 加筋垫层

加筋土桥台下方一定范围内由分层填土与拉筋（土工格栅、金属带等）复合构成的地基持力层。

### 3.4

#### 正墙

加筋土桥台中位于桥梁结构正下方与筋材（如土工织物或土工格栅）连接的墙面。

### 3.5

#### 侧墙

加筋土桥台中位于桥台两侧与正墙连接并呈一定角度布置的墙面。

### 3.6

#### 承载区缩进距离

加筋土桥台顶部直接承担桥梁结构荷载的区域与墙面之间的水平净距离。

## 4 基本规定

4.1 加筋土桥台结构选型应满足公路桥梁功能需求，综合考量结构荷载特性、地基条件、工程地质与水文地质环境、运维要求。

4.2 加筋土桥台宜用于地质条件良好且地基承载力达标的黄土地区公路桥梁，适用单跨跨径小于等于 20 m、桥台高度小于等于 10 m 的中小跨径桥梁。

4.3 在湿陷性黄土区应用加筋土桥台时，应进行地基处理并设置防水层并应考虑长期耐久性和监测要求。

## 5 材料

### 5.1 一般规定

5.1.1 加筋土桥台材料应包括加筋材料、填料、墙面材料，以及防渗、排水、反滤等工程所需功能性材料；主要及不可更换材料应适应黄土地区环境特征。

5.1.2 加筋土桥台的材料应符合 GB/T 50290、JTG/T D32 的要求。

### 5.2 筋材

5.2.1 筋材应具备良好的耐久性、耐候性、抗老化性能及抗化学腐蚀能力。

5.2.2 筋材的抗拉强度标准值不应低于 70 kN/m。

### 5.3 填料

5.3.1 填料应依据使用部位及施工环境选用坚硬不易破碎的砂土、碎石、砾石等无机材料。

5.3.2 填料级配应满足排水、压实及抗剪强度需求：排水要求较高区域宜采用级配不良碎石砾石，压实抗变形要求高区域宜采用级配良好砂石；压实度应大于等于 98%，内摩擦角应大于等于 38°，渗透系数应大于等于  $10^{-5}$  m/s。

5.3.3 不良级配填料粒径应小于等于 5 cm 且细粒含量应小于 5%，含细粒时最大粒径应为 1.3 cm ~ 2 cm；良好级配填料细粒含量应小于等于 12%。填料的不均匀系数应大于等于 5，曲率系数应在 1 ~ 3 之间。

### 5.4 墙面

5.4.1 墙面形式应根据桥台类型、设计参数及施工条件选定，宜选用混凝土干砌模块式、模块式挡土墙或现浇混凝土等类型。

5.4.2 混凝土强度等级应符合设计要求：板式或整体式面板不应低于 C30，砌块式面板不应低于 C20。

5.4.3 摩擦连接墙面筋材与墙体间摩擦系数宜取 0.6~0.8,其连接强度应满足极限荷载作用下的抗滑移要求。

5.4.4 机械连接抗拉强度应不低于筋材标准抗拉强度,连接件应满足抗腐蚀要求且镀层厚度大于等于 50  $\mu\text{m}$ 。

## 5.5 其它

5.5.1 防渗防水材料宜选用土工膜或土工合成材料黏土垫,采用土工膜时厚度应大于等于 0.25 mm 且膜体上下应设置保护层,土工合成材料黏土垫宜采用天然钠基膨润土且单位面积质量应大于等于 4800  $\text{g/m}^2$ 。

5.5.2 排水材料可选用土工复合排水网、复合排水带或碎石盲沟,其通水能力应满足桥台内部排水需求。

5.5.3 反滤材料宜采用无纺土工织物,单位面积质量应大于等于 200  $\text{g/m}^2$ 且等效孔径应小于等于 0.15 mm。

## 6 勘察设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 设计前应完成地形勘察、地质勘察、地基土参数测定及地下水条件分析。

6.1.2 桥台类型应依据桥梁跨度、荷载等级、地基承载力特征值及环境约束综合确定。

6.1.3 应做好湿陷性黄土地基处理和黄土陷穴处理,根据湿陷性黄土的等级采取相应的设计措施和处理方案。

6.1.4 上部结构设计应符合 JTG D60 的要求,桥台与上部结构连接部位应验算水平位移及转角。

### 6.2 地基处理

6.2.1 根据室内压缩试验确定湿陷性黄土的湿陷系数、自重湿陷系数,并根据上述两个系数,结合地质勘查的黄土分布情况计算湿陷性黄土地基的自重湿陷量和基底以下地基湿陷量,根据湿陷量确定湿陷性黄土地基的湿陷等级。相关计算应符合 JTG 3363 的要求。

6.2.2 根据湿陷性黄土的等级和水流特征,采取相应的设计措施和处理方案。地基处理的措施可参考表 1,也可根据地方经验采用其他可靠措施。湿陷性等级划分以及地基处理的设计计算应符合 JTG/T D31-05 的要求。

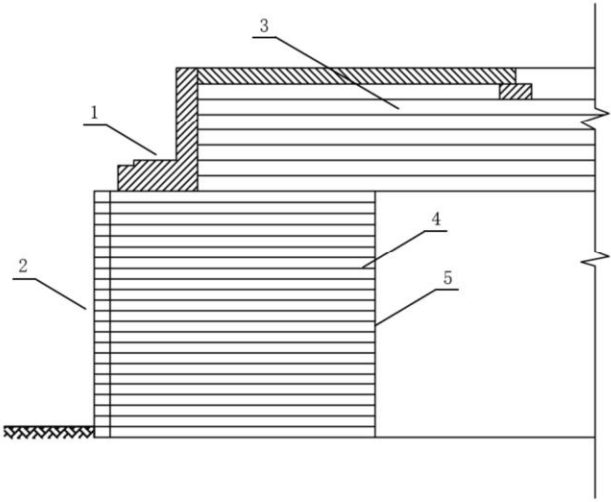
表 1 湿陷性黄土地区加筋土桥台地基处理措施

| 类型及措施                                                                                                                                                                                                | 水流特征及湿陷等级       |         |         |     |                 |         |         |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------|---------|-----|-----------------|---------|---------|-----|
|                                                                                                                                                                                                      | 经常性流水（或浸湿可能性较大） |         |         |     | 季节性流水（或浸湿可能性较小） |         |         |     |
|                                                                                                                                                                                                      | I               | II      | III     | IV  | I               | II      | III     | IV  |
| 措施                                                                                                                                                                                                   | ②、③             | ②、③     | ①、②     | ①   | ③               |         | ②、③     | ②   |
| 处理深度（m）                                                                                                                                                                                              | 2.0~3.0         | 3.0~5.0 | 4.0~6.0 | 6.0 | 0.8~1.0         | 1.0~2.0 | 2.0~3.0 | 5.0 |
| 注：表中 I、II、III、IV 为湿陷性黄土地基的湿陷等级，各编号对应的等级如下：I 为轻微；II 为中等；III 为严重；IV 为很严重；湿陷性等级划分应符合 JTG/T D31-05 的要求。表中 ①、②、③ 为措施编号，各编号的处理措施如下：① 桥台基础采用明挖、沉井或桩基，置于非湿陷性土层中；② 采用强夯法或挤密桩法，并采取防水和结构措施；③ 采用重锤夯实，并采取防水和结构措施。 |                 |         |         |     |                 |         |         |     |

### 6.3 结构形式

#### 6.3.1 加筋土桥台结构形式见图 1，结构设计应符合下列要求：

- a) 桥台高度综合地形特征、地基承载力及桥梁净空需求确定，并计入桥台压缩变形与地基沉降影响；
- b) 正墙与侧墙几何形状基于桥梁结构特征优化受力分布，侧墙与正墙垂直布置且筋材层位高程一致，其长度不小于正墙顶部加筋长度。



标引序号说明：

- 1——台座；
- 2——墙面；
- 3——引道路基；
- 4——土工合成材料；
- 5——加筋土。

图 1 加筋土桥台结构形式示意

#### 6.3.2 承载区缩进距离、台座宽度和墙面顶端至梁底面距离见图 2。桥梁上部结构相关的桥台几何尺寸应满足下列要求：

- a) 桥跨 ( $L_{span}$ ) 大于或等于 8 m 时，承载区宽度  $b$  不小于 0.8 m。 $L_{span} < 8$  m 时， $b \geq 0.6$  m；
- b) 承载区缩进距离 ( $a_b$ ) 不小于 0.2 m；当  $L_{span}$  较长或上部结构荷载较大时，可适当增大  $a_b$ ，但不超过 0.6 m。

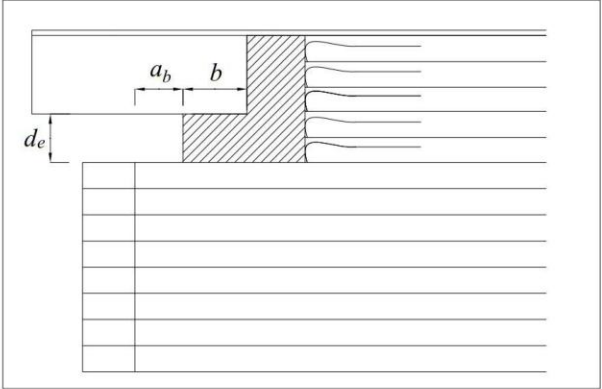


图 2 承载区缩进距离、台座宽度和墙面顶端至梁底面距离

6.3.3 加筋垫层几何尺寸见图 3。加筋垫层的尺寸应符合如下规定：

- 当  $L_{span} \geq 8$  m 时，加筋垫层宽度 ( $B_{total}$ ) 不小于 2 m。当  $L_{span} < 8$  m 时， $B_{total} \geq 1.5$  m；
- 桥台底宽（不含墙面宽度） $B$  与桥台高度  $H$  的比值 ( $B/H$ ) 不小于 0.3；
- 如果由  $L_{span}$  确定的  $b > 1.5$  m， $B$  满足  $B \geq b + 2a_b$ ；
- 加筋垫层应适当延长超过墙面，其超出长度 ( $X_{RSF}$ ) 不小于  $B_{total}$  的四分之一；
- 对于存在水流冲刷的工程，加筋土桥台的基础位于计算冲刷深度之上；
- 加筋垫层厚度 ( $D_{RSF}$ ) 大于 0.5 m。

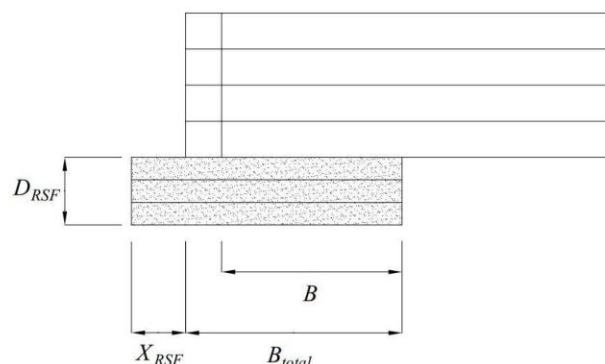


图 3 加筋垫层几何尺寸

6.3.4 加筋土桥台中所用筋材长度和筋材竖向间距应满足下列要求：

- 加筋土桥台的筋材长度不小于 0.7 倍的墙高，即  $0.7 H$ ；
- 筋材竖向间距 ( $S_v$ ) 小于 0.3 m；
- 承载区正下方不小于 1.0 m 的深度范围内的筋材间距采用附加筋材进行局部加密。局部加筋的筋材长度跨越上部结构与连接路基的接触面，且不小于  $(b + 2a_b)$ 。

6.3.5 连接路基应采用加筋土复合体填筑，加筋间距应不超过 0.3 m，筋材应在桥梁端部或台帽背墙处反包，且应跨越挖方坡口或桥台与被挡填土接触面至少 1.0 m。

6.3.6 应依据桥台高度、桥梁跨度等，确定工程重要性等级和加筋土桥台重要性系数 ( $\gamma_0$ )，对于桥台高度大于等于 8 m 或桥跨长度大于等于 15 m 的桥台，其重要性系数宜取 1.10；其他宜取 1.05。

## 6.4 荷载计算

6.4.1 加筋土桥台的荷载计算应考虑结构自重、交通荷载、及其他特殊荷载，并结合黄土地区的地质特性进行适当调整。其中，加筋土桥台中加筋土桥台结构自重、交通荷载见图 4。加筋土桥台顶部承载区承受的竖向荷载 ( $q_{v,bridge}$ ) 应符合附录 A 的规定。



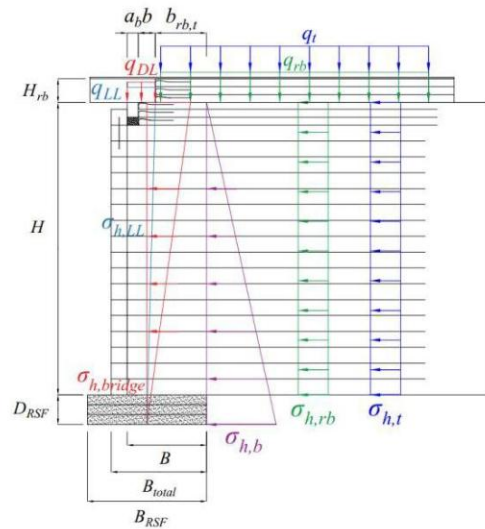


图 4 加筋土桥台荷载示意

图中：

- $q_{DL}$  为桥梁上部结构恒载；
- $q_{LL}$  为施加在桥梁上部结构的交通荷载；
- $q_{rb}$  为引道（桥）路基在加筋土桥台上部引起的荷载；
- $q_t$  为施加在引道路基上方的交通荷载（活荷载）；
- $\sigma_{h,bridge}$  为桥梁上部结构恒载在加筋土桥台内部引起的侧向土压力；
- $\sigma_{h,rb}$  为引道路基在加筋土桥台上部所引起荷载在加筋土桥台内部引起的侧向土压力；
- $\sigma_{h,t}$  为引道路基上交通荷载（活荷载）在加筋土桥台内部引起的侧向土压力；
- $\sigma_{h,W}$  为加筋土桥台内加筋土自重引起的侧向土压力。

6.4.2 施加在引道路基上和桥梁上部结构的交通荷载，可简化为等效上覆土层，并在加筋土桥台内部引起等效侧向土压力，等效上覆土层的厚度取决于加筋土桥台的高度  $H$ ， $H$  的技术特性应符合表 1 给出的特性值。

表 2 引道路基上活荷载的等效上覆土层厚度

单位为米

| $H$        | $h_{eq}$ |
|------------|----------|
| 1.5        | 1.2      |
| 3.0        | 1.0      |
| $\geq 6.0$ | 0.6      |

6.4.3 加筋区域内深度  $z$  处由桥梁上部结构静载和桥面上的可变荷载引起的应力分布见图 5, 该部分荷载引起的水平应力应符合附录 A 的规定。

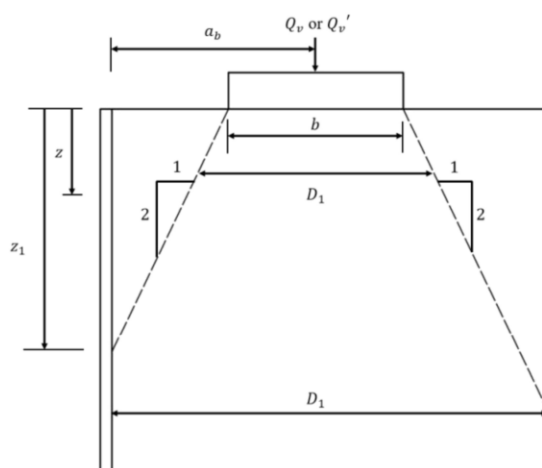


图5 加筋区域内应力分布

6.4.4 加筋土桥台支承的永久性荷载包括桥梁上部结构引起的荷载、引道路基引起的荷载，以及墙面自重引起的荷载（验算加筋垫层稳定性时考虑）。其中桥梁上部结构恒载由梁、沥青、覆盖层、护栏以及其他能够引起永久性荷载的结构共同引起。

6.4.5 墙面作用于加筋垫层和地基上的荷载有助于抵抗侧向土压力。模块式墙面自重应符合附录 A 的规定。

## 6.5 外部稳定性验算

6.5.1 加筋土桥台的外部稳定性验算包括桥台抗水平滑动验算和地基承载力验算。

6.5.2 应针对加筋土桥台和加筋垫层接触面、加筋垫层和地基接触面进行抗滑稳定性验算。

6.5.3 加筋土桥台与加筋垫层之间抗滑稳定性验算应符合附录 B 的规定。

6.5.4 加筋垫层和地基之间的抗滑稳定性验算应符合附录 B 的规定。

6.5.5 基底压应力验算应符合附录 B 的规定。

## 6.6 内部稳定性验算

6.6.1 加筋土桥台内部稳定性验算包括筋材抗拉强度和筋材抗拔稳定性验算，以及筋材与墙面的连接强度验算。

6.6.2 加筋土桥台筋材抗拉强度验算应符合附录 C 的规定。

6.6.3 筋材抗拔出稳定性验算应符合附录 C 的规定。

## 7 施工

### 7.1 一般规定

7.1.1 施工宜采用信息化、智能化施工与监测技术，提高施工质量与运行安全性。

7.1.2 施工应符合 JTG/T 3610、JTG/T 3650、TB 10303 及 JTG/T D32 的要求，重点控制筋材搭接长度和层间错台量。

7.1.3 施工过程材料管理应建立分类保管制度，运输储存时避免阳光直射和雨水浸泡，施工机具选择应减少材料损伤率。

### 7.2 施工准备

7.2.1 应根据现场环境条件制定安全防护与环境保护措施，并纳入施工方案。

7.2.2 施工组织设计应结合现场调查成果、设计指标及工期要求统筹编制。

7.2.3 测量放线应精确标定桥台基础平面位置，并复核墙面坡率设计参数。

### 7.3 地基处理

7.3.1 铺设筋材前应完成场地平整，软土等承载力不足区域应换填并分层压实。

7.3.2 除地基条件良好外，应在首层模块下方设置水平垫层，垫层应采用路基填料分层压实。

7.3.3 河床区域施工时应采取抛石、护坦等防护措施，确保桥台抗冲刷性能满足水文条件要求。

7.3.4 地基处理的施工应符合 JTG/T D31-05、DB14/T 3239 的要求。

### 7.4 加筋垫层

7.4.1 土工织物应完整包裹墙面及侧墙边缘，相邻织物搭接长度应满足抗渗要求。

7.4.2 筋材布置应保持均匀间距，铺设时需充分张拉确保摊铺过程中筋材平整无褶皱。

7.4.3 施工完成后加筋垫层表面应满足模块安装精度要求，平整度偏差应通过专项检测验收。

### 7.5 墙面修筑

7.5.1 混凝土模块抗压强度应大于等于 28 MPa。

7.5.2 模块应无裂缝或结构性缺陷，安装后暴露面应进行防水密封处理或掺入抗冻剂。

7.5.3 顶部模块宜采用混凝土整体粘接，轻质模块宜填充混凝土砂浆并植入钢筋加固。

### 7.6 筋材铺设

7.6.1 土工格栅、土工织物等材料严禁暴露于紫外线或极端温湿度环境，破损材料不得使用，储存时应采取遮光防潮措施。

7.6.2 铺设时应全程保持筋材拉伸状态，采用 U 形钉固定保持筋材平整直至填料覆盖厚度达标后方可撤除，相邻筋材应无重叠且完全覆盖施工面。

7.6.3 台座返包式加筋结构回折段长度应大于等于 1.5 m，顶层筋材返包长度应与设计筋长一致。

### 7.7 填料压实

7.7.1 填料摊铺厚度应分层控制，摊铺后应及时整平压实，压实度应不小于 98%。

7.7.2 填料含水量应控制在最佳值允许偏差范围内，排水性良好材料可适当放宽控制标准。

7.7.3 碾压作业应根据填料类型选用压路机具，中细砂类材料应优先选用静力压实设备。

7.7.4 每层施工完成后应进行压实度专项检测，验收合格后方可进行后续作业。

### 7.8 台座施工

7.8.1 台座下方应采用双层返包式加筋土结构，施工前应固定顶部模块并设置泡沫板隔离层。

7.8.2 台座顶层应填充粒径均匀的碎石层，压实后表面平整度误差应小于等于 5 mm。

### 7.9 梁板安装

7.9.1 梁板吊装时起重机械接地压力小于等于 200 kPa 可贴墙作业，超限时应增加支撑板与墙面间距，安装后应及时设置侧墙并控制接缝小于等于 3 mm。

7.9.2 梁板应平稳放置，安装完成后应进行位移监测（允许偏差小于等于 2 mm）。

### 7.10 引道路基

7.10.1 引道路基应采用良好级配填料，分层摊铺压实并实施全包裹筋材结构，单层摊铺厚度应小于等于 30 cm。

7.10.2 路面铺装前应进行预压处理，最上层筋材应低于铺装面 5 cm 并设置隔离层，防水卷材长度应延伸至桥梁上部结构之外大于等于 1.0 m 处。

### 7.11 排水

桥台顶部应设置大于等于 2%排水纵坡，背部和底部应铺设复合排水材料。

## 8 质量检验和验收

### 8.1 一般规定

8.1.1 加筋土桥台应实施全过程质量检验，涵盖材料进场复验、施工工序验收及竣工交付检测，同步开展施工期与运营期结构变形、位移及应力监测。

8.1.2 监测方案宜综合工程地质条件、水文地质参数及周边环境特征编制，并满足施工控制精度与运营安全预警需求。

8.1.3 加筋土桥台质量检验应符合 JTG F80/1 的要求。

### 8.2 监测

8.2.1 墙高小于等于 6 m 的桥台，宜监测墙面水平/竖向位移及顶部沉降，测点间距应小于等于 10 m。

8.2.2 墙高大于 6 m 的桥台应实施全要素监测，监测项目、监测点布置和监测频率应符合下列规定：

- 监测项目、监测点布置根据监测目的和要求综合确定，加筋土桥台监测项目满足表 3 要求；
- 施工期监测频率为 1 次/（1~3）天，重点关注加筋体分层压实度、位移及沉降变化；运营期监测频率为 1 次/（3~7）天，重点监测桥台整体变形、拉筋应变及周边地质稳定性。当监测数据连续 3 个月趋于稳定后，监测频率可调整为 1 次/月，但监测周期自施工开始至运营后不少于 1 年，对于特殊地质条件（如高填方、软土地基）或重要工程，监测期延长至 2~3 年。

表 3 加筋土桥台监测项目

| 监测项目        | 监测点布置                            | 监测目的         | 监测频率      |                                        | 监测周期                                                   |
|-------------|----------------------------------|--------------|-----------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|             |                                  |              | 施工期       | 运营期                                    |                                                        |
| 地基表面竖向位移    | 在地基强度低、地基条件复杂、挡墙高度大的断面，沿垂直墙面方向布置 | 监测地基沉降       | 1次/（1~3）天 | 1次/（3~7）天，当监测数据连续3个月趋于稳定后，监测频率可调整为1次/月 | 监测周期自施工开始至运营后不少于1年，对于特殊地质条件（如高填方、软土地基）或重要工程，监测期延长至2~3年 |
| 桥台面板水平和竖向位移 | 在地基强度低、挡墙高度大的断面，沿墙高布置            | 监测加筋土桥台变形    |           |                                        |                                                        |
| 桥台顶部竖向位移    | 在桥台顶部沿边缘布置                       | 监测加筋土桥台的工后沉降 |           |                                        |                                                        |
| 筋材拉力和土压力    | 沿筋材长度方向布置                        | 监测筋材受力状态     |           |                                        |                                                        |

8.2.3 长期监测或高危工点应优先采用自动化监测系统，数据采集误差应小于等于 0.1 mm。

8.2.4 监测数据超预警值时应 4 小时内启动应急响应，48 小时内提交专项处置方案并实施闭环管理。

### 8.3 施工检验

8.3.1 材料进场时，应按设计要求对品种、级别、包装或散装仓号、批次、出厂日期、出厂检验报告和产品合格证等进行检查。

8.3.2 材料进场应对土工合成材料筋材的类型和强度参数进行检验，当采用土工格栅作筋材时，尚应符合 JTG/T D32 的要求。土工合成材料筋材性能指标试验项目应符合表 4 要求。

表 4 土工合成材料筋材试验项目

| 试验项目             | 筋材 |
|------------------|----|
| 单位面积质量           | △  |
| 厚度               | △  |
| 孔径               | ■  |
| 几何尺寸             | ■  |
| 拉伸强度             | ■  |
| 延伸率              | ■  |
| 注：■为必做项目；△为选做项目。 |    |

8.3.3 施工前，应对填料的颗粒粒径、形状、含水量和持力特性等力学特性进行检验，不得含有腐殖土、草皮、树根等杂物，可参照 JTG/T 3610 的要求。

8.3.4 同一土工合成材料生产厂家、同一品种、同一等级、同一批号的材料，应每 1000 m<sup>2</sup> 为一个检验批次，回填土应按每 500 t 为一个检验批。各种材料不得少于两个检验批。

8.3.5 不同批次或不连续供应的土工合成材料，在不足一个检验批的情况下，应按同品种和同等级材料每批次检验 1 次。

8.3.6 应在施工前检查相关参考点是否已经布置或有详细计划：

- 桥梁上部结构中心线；
- 加筋土基础范围及高程参考线；
- 次级筋材承重区参考线；
- 侧墙宽度和长度；
- 墙面顶端至梁底面距离和承载区缩进距离；
- 桥跨参考线；
- 台座参考线；
- 高程；
- 坡度。

### 8.4 质量检验

8.4.1 加筋土桥台的质量检验标准与要求应符合表 5 要求，其中关键项目合格率应达 95%，一般项目合格率大于等于 80%。

表 5 加筋土桥台的质量检验标准和要求

| 项目   | 序号 | 检查项目     | 规定值或允许偏差 |      | 检查方法  | 检查频率     |
|------|----|----------|----------|------|-------|----------|
|      |    |          | 单位       | 数值   |       |          |
| 关键项目 | 1  | 加筋垫层埋置深度 | mm       | ± 10 | 经纬仪测量 | 必检       |
|      | 2  | 桥台承载力    | 不小于设计值   |      | 静荷载试验 | 必检       |
|      | 3  | 填料       | 符合设计要求   |      | 取样测试  | 1次/500 t |

| 项目   | 序号 | 检查项目    | 规定值或允许偏差   |            | 检查方法   | 检查频率                   |
|------|----|---------|------------|------------|--------|------------------------|
|      |    |         | 单位         | 数值         |        |                        |
|      | 4  | 筋材强度    | 不小于设计值     |            | 拉伸试验   | 1次/1000 m <sup>2</sup> |
|      | 5  | 筋材延伸率   | 不大于设计值     |            | 拉伸试验   |                        |
|      | 6  | 加筋间距    | 符合设计要求     |            | 钢尺测量   | 1次/层                   |
|      | 7  | 桥台顶标高   | mm         | ± 10       | 水准测量   | 3点/边                   |
|      | 8  | 填料压实度   | 不小于设计值     |            | 灌砂法    | 3点/层                   |
| 一般项目 | 1  | 筋材铺设平整度 | mm         | ± 20       | 用2 m靠尺 | 3处/层                   |
|      | 2  | 填料含水量   | 最优含水量 ± 3% |            | 烘干法    | 1次/3层                  |
|      | 3  | 辗迹重叠长度  | mm         | 500 ~ 1000 | 钢尺测量   | 3处/层                   |
|      | 4  | 墙面倾斜率   | 小于等于0.5%   |            | 线锤测量   | 3处/边                   |
|      | 5  | 墙面平整度   | mm         | ± 10       | 水准测量   |                        |

## 8.5 验收资料

8.5.1 现场试验应包括含水量、密度等核心指标检测，检测结果应作为永久档案保存，施工变更记录、日常建设报告应同步归档。

8.5.2 原材料质量证明文件、施工过程检验记录及验收报告应完整留存，保存期限应大于等于工程设计使用年限。

8.5.3 设计变更文件应与图纸会审记录同步更新，变更实施前应完成三方（建设、设计、监理）联合审批。

8.5.4 竣工平面图应标注实际施工参数并归档。

## 附录 A

(规范性)

荷载计算

A.1 加筋土桥台顶部承载区承受的竖向荷载 ( $q_{v,bridge}$ ) 按公式 (A.1) 计算:

$$q_{v,bridge} = q_{DL} + q_{LL} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$q_{DL}$  —— 桥梁上部结构恒载, 单位为千帕 (kPa);

$q_{LL}$  —— 施加在桥梁上部结构的交通荷载, 单位为千帕 (kPa)。

A.2 加筋区域内深度  $z$  处水平应力按公式 (A.2) ~ 公式 (A.6) 计算:

$$\Delta\sigma_{h,bridge} = K_a \Delta\sigma_{v,bridge} \dots\dots\dots (A.2)$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \dots\dots\dots (A.3)$$

$$\Delta\sigma_{v,bridge} = \frac{P_v}{D_1} \dots\dots\dots (A.4)$$

$$D_1 = b + z, \quad z \leq z_2 \dots\dots\dots (A.5)$$

$$D_1 = \frac{z}{2} + a_b + b, \quad z > z_2 \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$K_a$  —— 填料的主动土压力系数;

$\varphi$  —— 填料摩擦角, 单位为度 ( $^\circ$ );

$P_v$  —— 承载区承受的竖向荷载, 单位为千牛每米 (kN/m);

$D_1$  —— 深度处荷载作用的有效宽度, 单位为米 (m);

$z_2$  —— 有效宽度与桥台墙面相交处的深度, 单位为米 (m);

$b$  —— 承载区宽度, 单位为米 (m);

$a_b$  —— 承载区缩进距离, 单位为米 (m)。

A.3 模块式墙面自重按公式 (A.7) 计算:

$$W_{face} = N_{block} \frac{W_{block}}{L_{block}} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

$N_{block}$  —— 模块层数;

$W_{block}$  —— 单块模块自重, 单位为千牛每米 (kN/m);

$L_{block}$  —— 模块宽度, 单位为米 (m)。

## 附录 B

(规范性)  
外部稳定性验算

## B.1 加筋土桥台与加筋垫层之间抗滑稳定性验算

B.1.1 桥台的抗水平滑动安全系数按公式 (B.1) 计算:

$$FS_s = \frac{R_n}{\gamma_0 F_n} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

 $FS_s$  —— 抗滑安全系数, 可取1.5; $R_n$  —— 水平抗力, 单位为千牛每米 (kN/m); $F_n$  —— 水平推力, 单位为千牛每米 (kN/m); $\gamma_0$  —— 加筋土桥台结构的重要性系数。B.1.2 水平推力包含支挡区填料、引道路基和引道上活荷载分别引起的侧向土压力  $F_b$ 、 $F_{rb}$  和  $F_t$  按公式 (B.2) ~ 公式 (B.4) 计算:

$$F_b = \frac{1}{2} \gamma_b K_{ab} H^2 \dots\dots\dots (B.2)$$

$$F_{rb} = q_{rb} K_{ab} H \dots\dots\dots (B.3)$$

$$F_t = q_t K_{ab} H \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

 $\gamma_b$  —— 支挡区填料的重度, 单位为千牛每立方米 (kN/m<sup>3</sup>); $K_{ab}$  —— 支挡区填料主动土压力系数; $H$  —— 包含墙面顶端至梁底面距离的加筋土桥台总高, 单位为米 (m); $q_{rb}$  —— 引道路基在加筋土桥台上部引起的荷载, 单位为千帕 (kPa); $q_t$  —— 施加在引道路基上方的活荷载, 单位为千帕 (kPa)。

B.1.3 水平推力按公式 (B.5) 计算:

$$F_n = F_b + F_{rb} + F_t \dots\dots\dots (B.5)$$

B.1.4 加筋土桥台底部抗滑力  $R_n$  按公式 (B.6) 计算:

$$R_n = \mu W_{T,R} \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

 $\mu$  —— 加筋土桥台与加筋垫层之间的摩擦系数, 等于填料与筋材之间摩擦角的正切值; $W_{T,R}$  —— 作用在加筋垫层上表面的总垂直力, 单位为千牛每米 (kN/m)。

B.1.5 填料与筋材之间摩擦角通过界面直剪试验测得, 若设计阶段没有该参数, 可通过以下经验公式 (B.7) 计算:

$$\mu = \frac{2}{3} \tan(\varphi_r) \dots\dots\dots (B.7)$$



式中：

$\varphi_r$  —— 填料摩擦角，单位为度（°）。

B.1.6  $W_{T,R}$ 包括加筋土桥台中填料自重、桥梁上部结构在台座上施加的荷载、墙面自重和引道路基在加筋土桥台上施加的荷载四部分，按照公式（B.8）计算：

$$W_{T,R} = W + q_{DL}b + W_{face} + q_{rb}b_{rb,t} \quad (\text{B.8})$$

式中：

$W$  —— 加筋土桥台自重，单位为千牛每米（kN/m）；

$q_{DL}$  —— 桥梁上部结构恒载，单位为千帕（kPa）；

$b$  —— 台座宽度，单位为米（m）；

$W_{face}$  —— 墙面自重，单位为千牛每米（kN/m）；

$q_{rb}$  —— 引道路基作用在加筋土桥台上的恒载，单位为千帕（kPa）；

$b_{rb,t}$  —— 引道路基在台座筋材上的搭接长度，单位为米（m）。

B.1.7 加筋土桥台自重 $W$ 按公式（B.9）计算：

$$W = \gamma_r H B \quad (\text{B.9})$$

式中：

$\gamma$  —— 土工合成材料加筋土容重，单位为千牛每立方米（kN/m<sup>3</sup>）；

$H$  —— 包含墙面顶端至梁底面距离的加筋土桥台总高，单位为米（m）；

$B$  —— 加筋土桥台宽度，单位为米（m）。

B.1.8 当加筋土桥台与加筋垫层之间抗滑稳定性验算不满足要求时，应加长加筋土桥台底部筋材。

## B.2 加筋垫层与地基之间抗滑稳定性验算

B.2.1 支挡区填料、引道路基和引道上活荷载分别在加筋土桥台和加筋垫层上引起的侧向土压力 $F_{b,RSF}$ 、 $F_{rb,RSF}$ 和 $F_{t,RSF}$ ，按公式（B.10）～公式（B.12）计算：

$$F_{b,RSF} = \frac{1}{2} \gamma_b K_{ab} (H + D_{RSF})^2 \quad (\text{B.10})$$

$$F_{rb,RSF} = q_{rb} K_{ab} (H + D_{RSF}) \quad (\text{B.11})$$

$$F_{t,RSF} = q_t K_{ab} (H + D_{RSF}) \quad (\text{B.12})$$

式中：

$D_{RSF}$  —— 加筋垫层厚度，单位为米（m）。

B.2.2 水平推力按公式（B.13）计算：

$$F_{R,RSF} = F_{b,RSF} + F_{rb,RSF} + F_{t,RSF} \quad (\text{B.13})$$

B.2.3 加筋土桥台底部抗滑力 $R_{R,RSF}$ 按公式（B.14）计算：

$$R_{R,RSF} = \mu_{RSF} W_{T,R,RSF} \quad (\text{B.14})$$

式中：

$\mu_{RSF}$  —— 加筋垫层与地基之间的摩擦系数，可取 $\mu$ ；

$W_{T,R,RSF}$  —— 作用在地基上的总垂直力，单位为千牛每米（kN/m），按公式（B.15）计算：

$$W_{T,R,RSF} = W_{T,R} + W_{RSF} \quad \text{..... (B.15)}$$

式中:

$W_{RSF}$  —— 加筋垫层自重, 单位为千牛每米 (kN/m), 按公式 (B.16) 计算:

$$W_{RSF} = B_{RSF} D_{RSF} \quad \text{..... (B.16)}$$

式中:

$B_{RSF}$  —— 加筋垫层宽度, 单位为米 (m)。

B.2.4 当加筋垫层与地基之间抗滑稳定性验算不满足要求时, 应加长加筋土桥台底部筋材。

### B.3 基底压应力验算

B.3.1 基底压应力验算按公式 (B.17) 计算:

$$FS_b = \frac{q_R}{\gamma_0 \sigma_{v,base}} \quad \text{..... (B.17)}$$

式中:

$FS_b$  —— 地基承载力安全系数, 可取2.5;

$q_R$  —— 地基极限承载力, 单位为千帕 (kPa);

$\sigma_{v,base}$  —— 地基上受到的竖向应力, 单位为千帕 (kPa)。

B.3.2 施加在基底的压应力源自加筋土桥台自重、加筋垫层自重、桥梁上部结构恒载、引道路基恒载以及作用在桥梁上部结构和引道路基的活荷载。施加在基底的压应力按Meyerhof理论公式 (B.18) 进行计算:

$$\sigma_{v,base} = \frac{\sum V_R}{B_{RSF} - 2e_{B,R}} \geq 1.0 \quad \text{..... (B.18)}$$

式中:

$\sum V_R$  —— 施加在地基上的总垂直力, 单位为千牛每米 (kN/m), 按公式 (B.19) 计算;

$B_{RSF}$  —— 加筋垫层宽度, 单位为米 (m);

$e_{B,R}$  —— 偏心距, 单位为米 (m), 按公式 (B.20) 计算。

$$\sum V_R = W + W_{RSF} + W_{face} + q_t b_{rb,t} + q_{rb} b_{rb,t} + q_{DL} b + q_{LL} b \quad \text{..... (B.19)}$$

式中:

$W$  —— 加筋土桥台自重, 单位为千牛每米 (kN/m);

$W_{RSF}$  —— 加筋垫层自重, 单位为千牛每米 (kN/m);

$W_{face}$  —— 墙面自重, 单位为千牛每米 (kN/m);

$q_t$  —— 施加在引道路基上方的活荷载, 单位为千帕 (kPa);

$b_{rb,t}$  —— 引道路基在台座筋材上的搭接长度, 单位为米 (m);

$q_{rb}$  —— 引道路基作用在加筋土桥台上的恒载, 单位为千帕 (kPa);

$q_{DL}$  —— 桥梁上部结构恒载, 单位为千帕 (kPa);

$b$  —— 台座宽度, 单位为米 (m);

$q_{LL}$  —— 桥梁上部结构活荷载, 单位为千帕 (kPa)。

$$e_{B,R} = \frac{\sum M_{D,R} - \sum M_{R,R}}{\sum V_R} \geq 1.0 \quad \text{..... (B.20)}$$

式中:

$\sum M_{D,R}$  —— 驱动总弯矩，单位为千牛每米（kN/m）；

$\sum M_{R,R}$  —— 抵抗总弯矩，单位为千牛每米（kN/m）。

按公式（B.21）和公式（B.22）对于加筋垫层宽度中心取弯矩。若 $e_{B,R}$ 为负值，在公式（B.18）中应代入0。

$$\sum M_{D,R} = F_{b,RSF} \left( \frac{H+D_{RSF}}{3} \right) + F_{t,RSF} \left( \frac{H+D_{RSF}}{2} \right) + F_{rb,RSF} \left( \frac{H+D_{RSF}}{2} \right) \dots\dots\dots (B.21)$$

$$\sum M_{R,R} = (q_{DL}b + q_{LL}b) \left[ \left( \frac{b}{2} + a_b \right) - \left( \frac{B_{RSF}}{2} - x_{RSF} - b_{block} \right) \right] + (q_t b_{rb,t} + q_{rb} b_{rb,t}) \left( \frac{B_{RSF}}{2} - \frac{b_{rb}}{2} \right) + W \left( \frac{B_{RSF}}{2} - \frac{B}{2} \right) + W_{face} \left( B + \frac{b_{block}}{2} - \frac{B_{RSF}}{2} \right) \dots\dots\dots (B.22)$$

式中：

$b_{block}$  —— 墙面模块的宽度，单位为米（m）。

B.3.3 地基承载力按公式（B.23）计算，承载力系数符合表B.1给出的特性值：

$$q_R = \Phi_{bc} (c'_f N_c + \frac{1}{2} B' \gamma'_f N_\gamma + \gamma'_f D_f N_q) \dots\dots\dots (B.23)$$

式中：

$c'_f$  —— 地基土体黏聚力，单位为千帕（kPa）；

$\gamma'_f$  —— 地基土体有效重度，单位为千牛每立方米（kN/m<sup>3</sup>）；

$B'$  —— 地基有效宽度，单位为米（m）；

$D_f$  —— 埋置深度，单位为米（m）；

$N_c, N_\gamma, N_q$  —— 承载力系数；

$\Phi_{bc}$  —— 折减系数，0.65。

表 B.1 承载力系数

| $\varphi'_f$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $\varphi'_f$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ |
|--------------|-------|-------|------------|--------------|-------|-------|------------|
| 0            | 5.14  | 1.0   | 0.0        | 23           | 18.1  | 8.7   | 8.2        |
| 1            | 5.4   | 1.1   | 0.1        | 24           | 19.3  | 9.6   | 9.4        |
| 2            | 5.6   | 1.2   | 0.2        | 25           | 20.7  | 10.7  | 10.9       |
| 3            | 5.9   | 1.3   | 0.2        | 26           | 22.3  | 11.9  | 12.5       |
| 4            | 6.2   | 1.4   | 0.3        | 27           | 23.9  | 13.2  | 14.5       |
| 5            | 6.5   | 1.6   | 0.5        | 28           | 25.8  | 14.7  | 16.7       |
| 6            | 6.8   | 1.7   | 0.6        | 29           | 27.9  | 16.4  | 19.3       |
| 7            | 7.2   | 1.9   | 0.7        | 30           | 30.1  | 18.4  | 22.4       |
| 8            | 7.5   | 2.1   | 0.9        | 31           | 32.7  | 20.6  | 26.0       |
| 9            | 7.9   | 2.3   | 1.0        | 32           | 35.5  | 23.2  | 30.2       |
| 10           | 8.4   | 2.5   | 1.2        | 33           | 38.6  | 26.1  | 35.2       |
| 11           | 8.8   | 2.7   | 1.4        | 34           | 42.2  | 29.4  | 41.1       |
| 12           | 9.3   | 3.0   | 1.7        | 35           | 46.1  | 33.3  | 48.0       |
| 13           | 9.8   | 3.3   | 2.0        | 36           | 50.6  | 37.8  | 56.3       |
| 14           | 10.4  | 3.6   | 2.3        | 37           | 55.6  | 42.9  | 66.2       |

| $\varphi'_f$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $\varphi'_f$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ |
|--------------|-------|-------|------------|--------------|-------|-------|------------|
| 15           | 11.0  | 3.9   | 2.7        | 38           | 61.4  | 48.9  | 78.0       |
| 16           | 11.6  | 4.3   | 3.1        | 39           | 67.9  | 56.0  | 92.3       |
| 17           | 12.3  | 4.8   | 3.5        | 40           | 75.3  | 64.2  | 109.4      |
| 18           | 13.1  | 5.3   | 4.1        | 41           | 83.9  | 73.9  | 130.2      |
| 19           | 13.9  | 5.8   | 4.7        | 42           | 93.7  | 85.4  | 155.6      |
| 20           | 14.8  | 6.4   | 5.4        | 43           | 105.1 | 99.0  | 186.5      |
| 21           | 15.8  | 7.1   | 6.2        | 44           | 118.4 | 115.3 | 224.6      |
| 22           | 16.9  | 7.8   | 7.1        | 45           | 133.9 | 134.9 | 271.8      |

B.3.4 当基底压应力验算不满足要求时，应增加加筋垫层的宽度和厚度。

## 附录 C

## (规范性)

## 内部稳定性验算

## C.1 加筋土桥台筋材抗拉强度验算

C.1.1 筋材抗拉强度安全系数按公式 (C.1) 计算, 筋材的容许抗拉强度按公式 (C.2) 计算:

$$FS_r = \frac{T_a}{\gamma_0 T_{max}} \quad (C.1)$$

$$T_a = \frac{T_f}{RF} \quad (C.2)$$

式中:

$FS_r$  —— 筋材抗拉断安全系数, 可取1.5;

$T_a$  —— 筋材容许抗的拉强度, 单位为千牛每米 (kN/m);

$T_{max}$  —— 筋材承受的最大拉力, 单位为千牛每米 (kN/m);

$\gamma_0$  —— 加筋土桥台结构的重要性系数;

$RF$  —— 综合强度折减系数, 宜考虑材料蠕变、施工损伤、长期老化等因素, 按筋材类别、填料情况和工作环境等通过试验测定; 在无实测资料时, 综合强度折减系数可取2.5~5.0, 施工条件差、材料蠕变性大时取大值。

C.1.2 每层筋材承受的最大拉力  $T_{max}$  按式公式 (C.3) ~ 公式 (C.4) 计算:

$$T_{max} = \sigma_h S_v \quad (C.3)$$

$$\sigma_h = K_a [\gamma_r (z + \Delta h + h_{eq})] + \Delta \sigma_{h,bridge} \quad (C.4)$$

式中:

$\sigma_h$  —— 加筋区域内深度  $z$  处的水平应力, 单位为千帕 (kPa);

$S_v$  —— 筋材竖向间距, 单位为米 (m);

$\Delta h$  —— 加筋区上方道路填土高度, 单位为米 (m);

$h_{eq}$  —— 桥台上交通荷载等效土层厚度, 单位为米 (m);

$K_a$  —— 填土的主动土压力系数;

$\Delta \sigma_{h,bridge}$  —— 桥梁上部结构在桥台内部产生的水平应力, 单位为千帕 (kPa)。

## C.2 筋材抗拔出稳定性验算

C.2.1 假设加筋土桥台的潜在破裂面呈双折线见图 C.1。

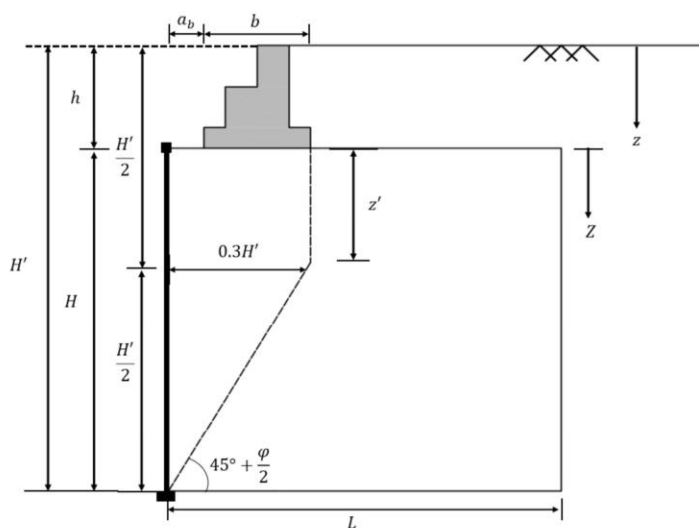


图 C.1 加筋土桥台的潜在破裂面

C.2.2 筋材抗拔出的安全系数按公式 (C.5) 和公式 (C.6) 计算:

$$FS_p = \frac{2\alpha c_i \sigma_v L_e}{\gamma_0 T_{max}} \quad (C.5)$$

$$c_i = \frac{\tan \varphi_{sg}}{\tan \varphi} \quad (C.6)$$

式中:

$FS_p$  —— 筋材抗拔出安全系数, 可取1.5;

$L_e$  —— 锚固段筋材长度, 单位为米 (m);

$\alpha$  —— 筋土界面尺寸效应系数, 根据筋材拉拔试验确定;

$c_i$  —— 筋土界面相互作用系数;

$\varphi_{sg}$  —— 筋土界面等效摩擦角, 通过拉拔试验确定;

$\sigma_v$  —— 筋材位置处的竖向应力, 单位为千帕 (kPa)。

C.2.3 筋材总长度 ( $L_r$ ) 按公式 (C.7) 计算:

$$L_r = L_a + L_e \quad (C.7)$$

式中:

$L_a$  —— 主动区筋材长度, 单位为米 (m)。

C.2.4 筋材与墙面之间连接强度的安全系数按公式 (C.8) 计算:

$$FS_c = \frac{T_c}{T_{max}} \quad (C.8)$$

式中:

$FS_c$  —— 筋材与墙面之间连接强度安全系数, 可取1.2;

$T_c$  —— 筋材与墙面之间的连接强度, 单位为千牛每米 (kN/m), 通过试验确定。