7.1 概述

Dr. Han WX

加　　筋

地 基 处 理

Ground Treatment

教师 ***Instructor***

Dr. Wenxi Han **韩文喜**

联系方式

Phone: 13880536952

E-mail: hwx@cdut.edu.cn

本课程必备条件 ***Prerequisites:***

《土力学》

《地基与基础》

《岩土工程施工》

第七章 加筋

7.1 概述

Dr. Han WX

加筋泛指在地基土体中设置强度高、模量大的筋材，使土体与筋材一起形成加筋复合体，以达到提高稳定性，改善变形性能为目的的一类地基处理方法的总称。这里加筋是一个比较笼统的概念。

加筋法中所用的筋材可以是土工合成材料，如土工布、土工格栅等；也可以是指在地基中设置的土钉、锚杆等。

本章介绍的加筋法主要包括加筋土垫层法、加筋土挡墙、锚杆和土钉支护、锚钉板挡土结构等。除上述加筋法外，笔者还将采用低强度桩复合地基、刚性桩复合地基和长短桩复合地基加固地基也放在这一部分介绍。

加筋法加固地基的机理比较复杂。采用的加筋方法不同，或加筋方法相同而所用筋材不同，其加固机理也可能不同。

第七章 加筋

7.2 加筋土垫层

Dr. Han WX

加筋土垫层法多应用于路堤软土地基加固，主要用于提高地基稳定性，减小地基沉降。

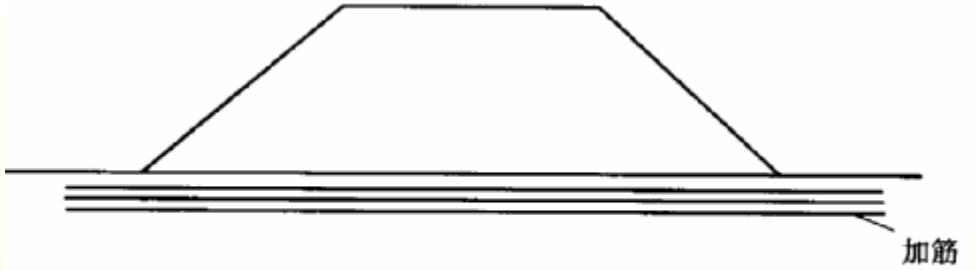
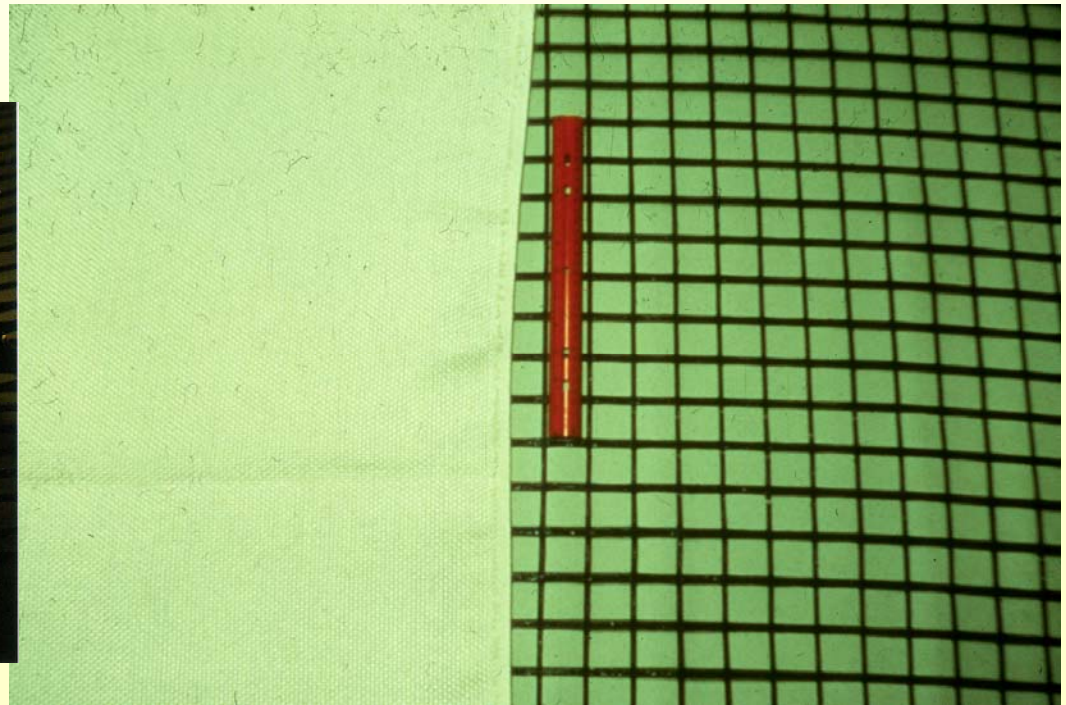


图 7-2-1 加筋土垫层示意图

可用于形成加筋土垫层的土工合成材料有：土工织物、土工条带、土工格栅、土工格室、土工网等。





第七章 加筋

7.2 加筋土垫层

Dr. Han WX

按照应用土工合成材料形式的不同，加筋土挡墙可分为：

土工格栅加筋土。





第七章 加筋

7.2 加筋土垫层

Dr. Han WX

采用加筋土垫层加固路堤地基的破坏形式：

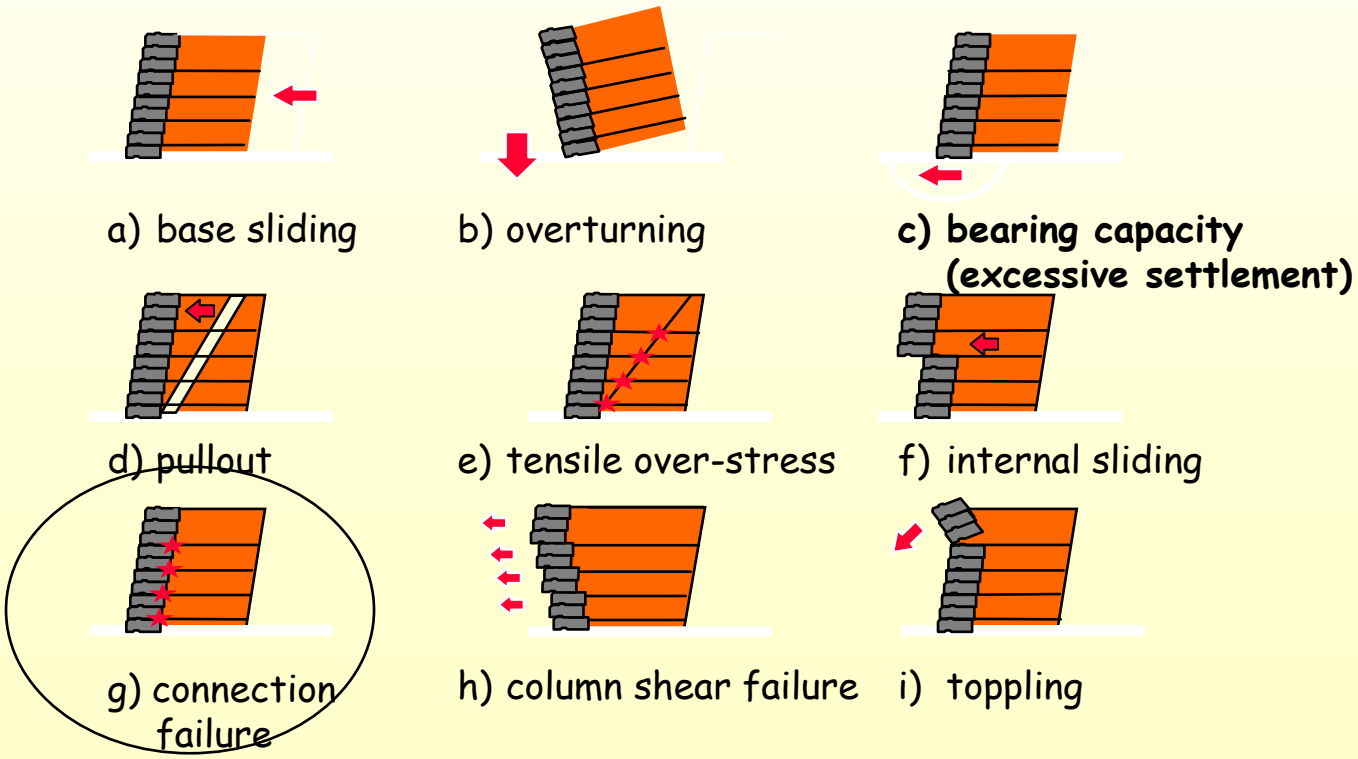
滑弧破坏、加筋体绷断破坏、地基塑性滑动破坏、薄层挤出

Modes of Failure

External 外部

Internal 内部

Facing 面板



第七章 加筋

7.2 加筋土垫层

Dr. Han WX

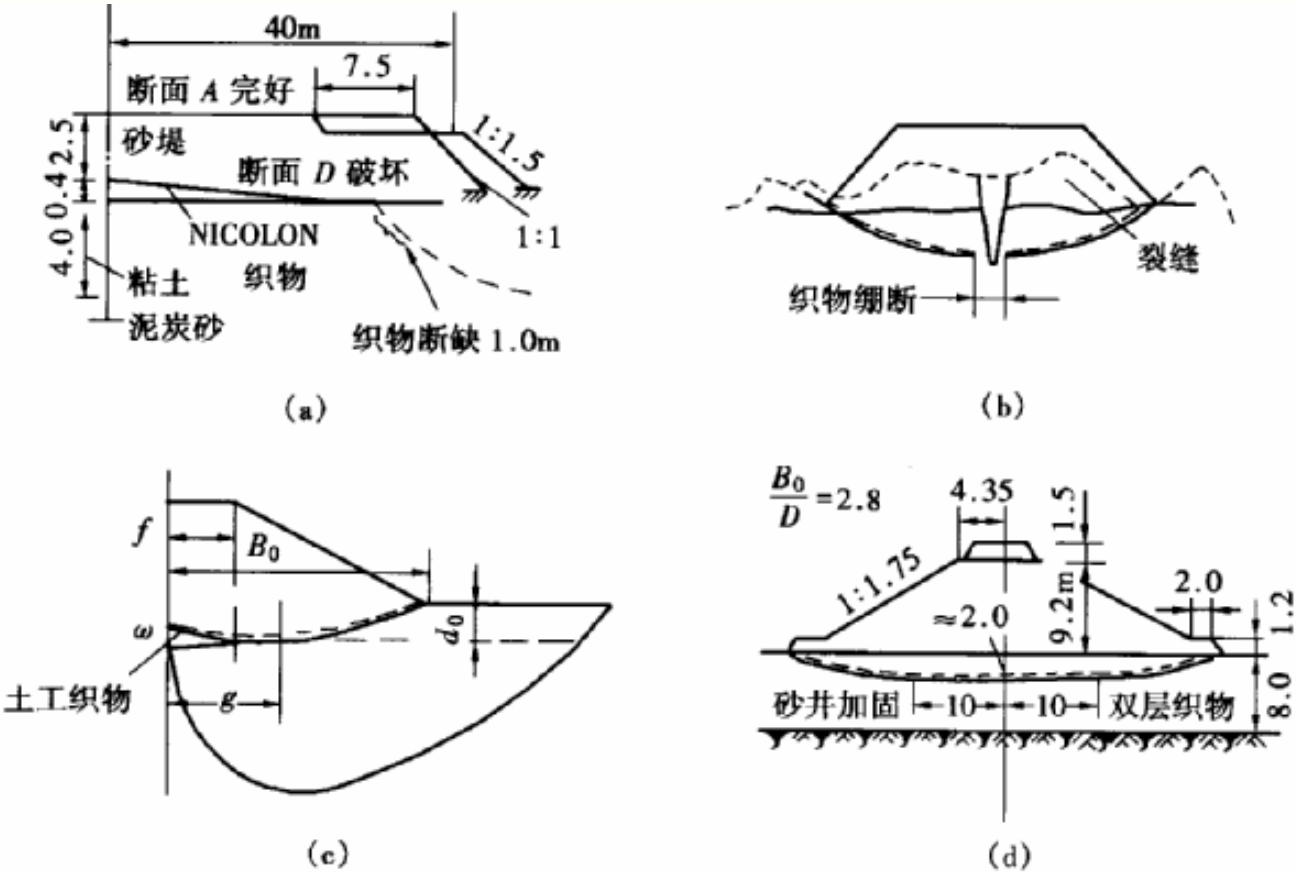


图 7-2-2 加筋土垫层加固堤基破坏形式

(a) 荷兰试验堤滑弧破坏；(b) 美国—桥头路堤加筋体绷断破坏；

(c) 黄浦港试验堤地基塑性滑动破坏；(d) 三茂铁路试验堤薄层挤出破坏

第七章 加筋

7.2 加筋土垫层

Dr. Han WX

在荷载作用下加筋土垫层加固地基的工作性状是很复杂的，加筋体的作用及工作机理也很复杂。加筋土地基的破坏具有多种形式，形成破坏的影响因素也很多，而且很复杂。到目前为止，许多问题尚未完全搞清楚，其计算理论正处在发展之中，尚不成熟。

在加筋土地基设计中要考虑防止上述四种破坏形式(滑弧破坏、加筋体绷断破坏、加筋土地基塑性滑动破坏和软弱薄层挤出破坏)的发生,并要验算加筋土层下卧层承载力。

加筋土垫层加固地基主要是提高了地基的稳定性。当路堤地基采用桩体复合地基加固时，在路堤和复合地基之间铺设加筋土垫层，既可有效提高地基承载力又可有效减小路堤的沉降。

第七章 加筋

7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

按照应用土工合成材料形式的不同，加筋土挡墙可分为：条带式加筋土挡墙、包裹式加筋土挡墙。

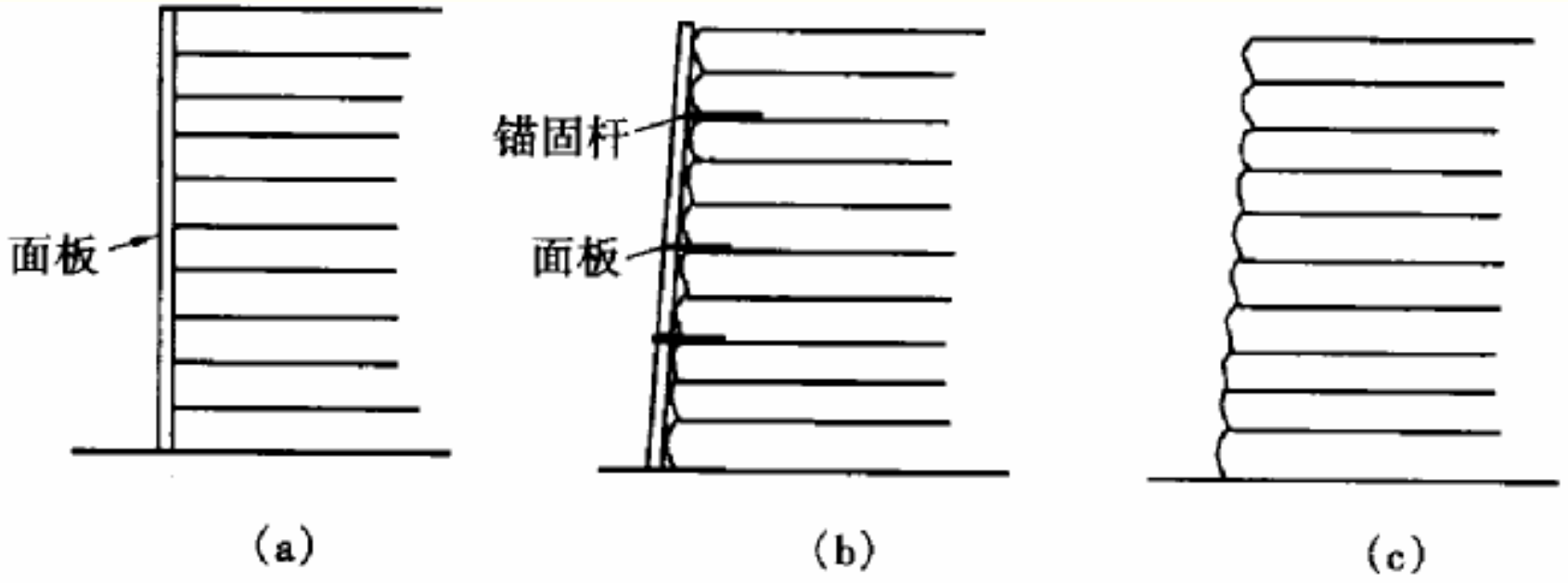


图 7-3-1 加筋土挡墙

(a) 条带式；(b) 包裹式 (1)；(c) 包裹式 (2)

第七章 加筋

7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

条带式加筋土挡墙



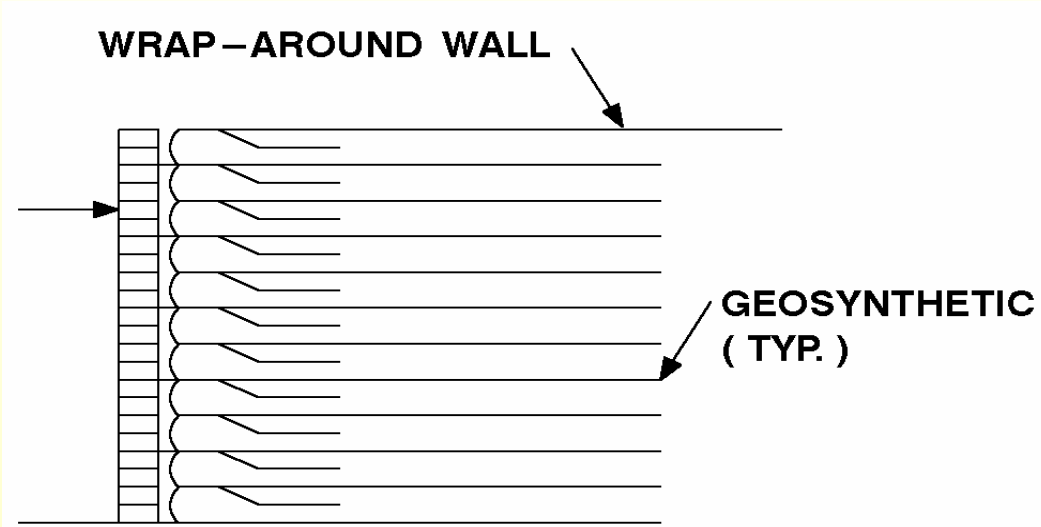


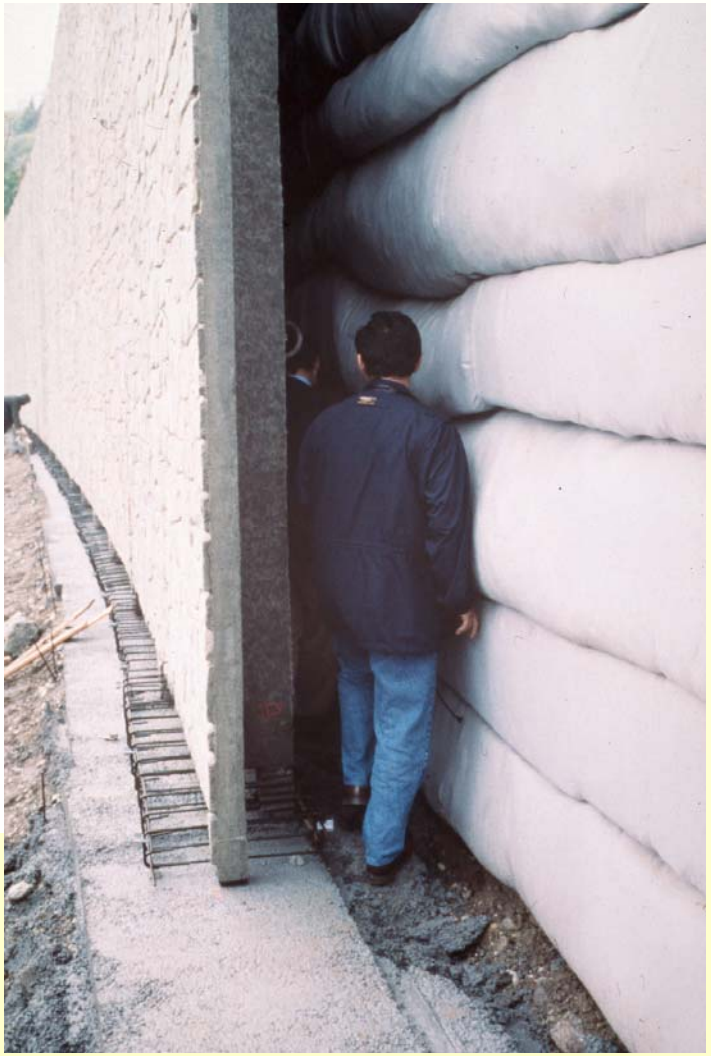
第七章 加筋

7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

包裹式加筋土挡墙。



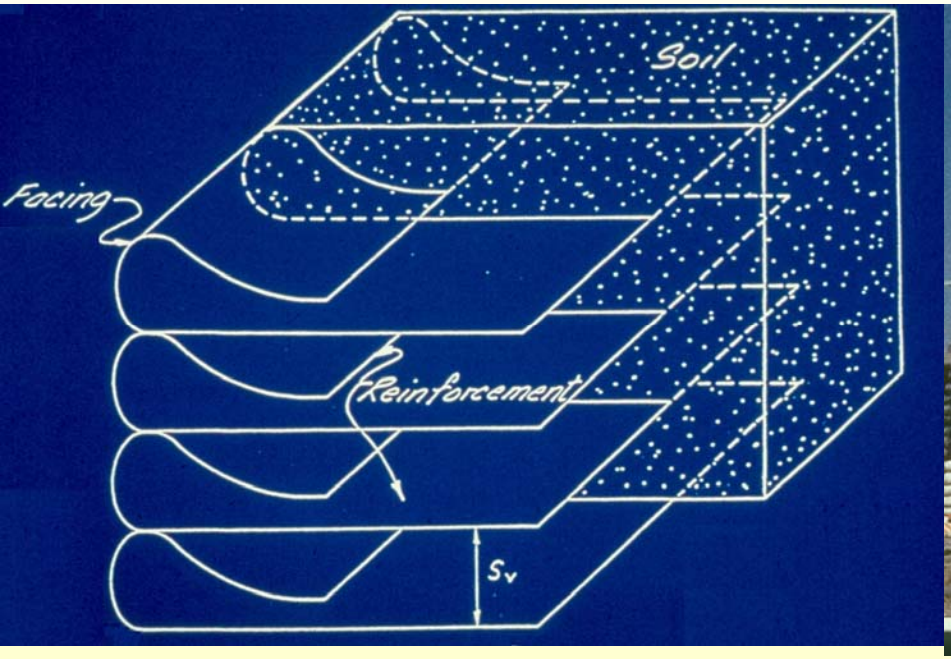


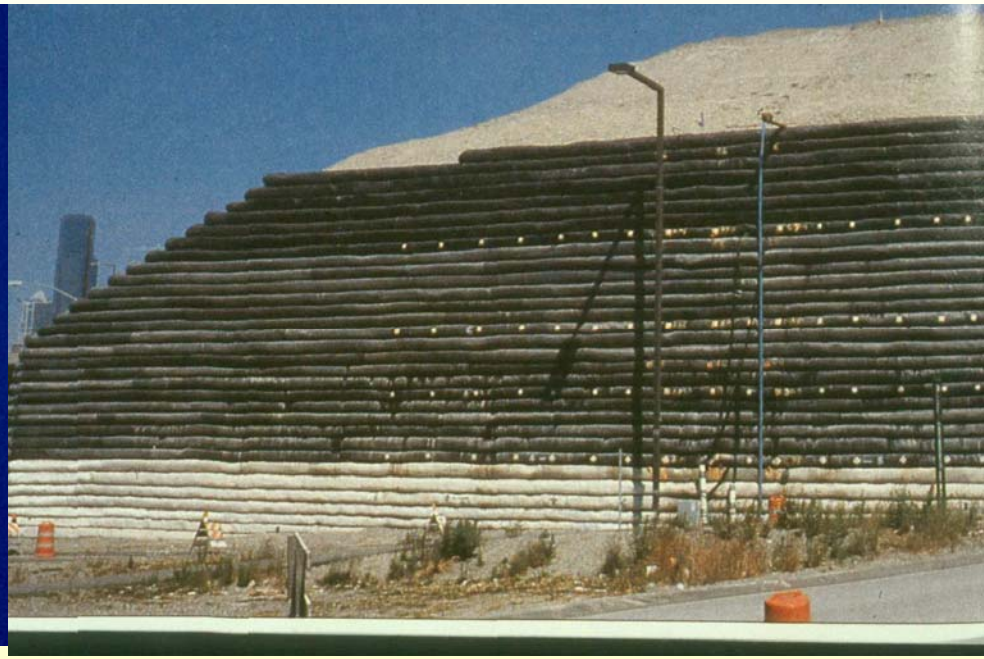
第七章 加筋

7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

包裹式加筋土挡墙。





7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

加筋土挡墙具有以下特点：

(1) 可实行垂直填土以减少占地面积。减少占地面积具有较大的经济价值。

(2) 面板、筋带可工厂化生产，易于保证质量。

(3) 充分利用土与拉筋的共同作用，使挡墙结构轻型化。加筋土挡墙具有柔性结构性能，可承受较大的地基变形。因而加筋土挡墙可应用于软土地基上砌筑挡土墙，并具有良好的抗震性能。

(4) 加筋土挡墙外侧可铺面板，面板的形式可根据需要拼装，造型美观，适用于城市道路的支挡工程。加筋土挡墙也可与三维植被网结合，在加筋土挡墙外侧进行绿化，景观效果也好。

第七章 加筋

7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

加筋土挡墙的破坏形式：

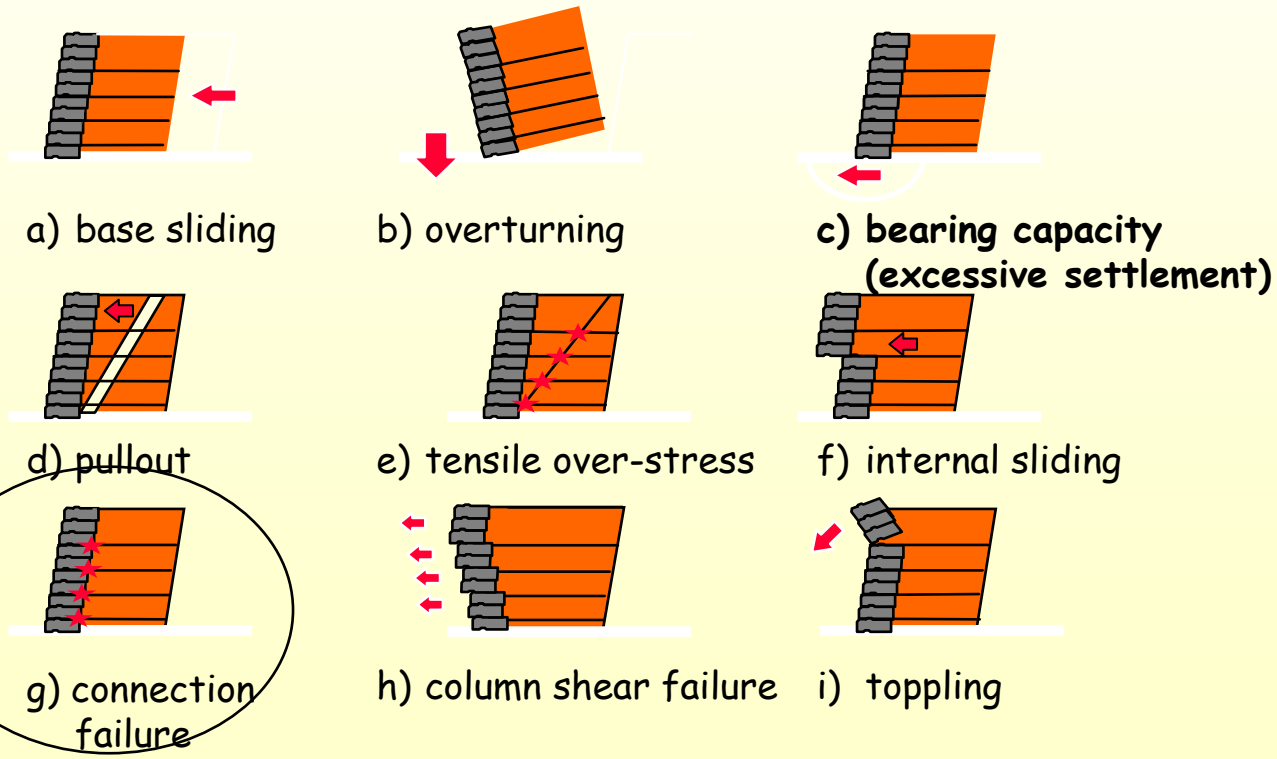
外部破坏，内部破坏，面板破坏

Modes of Failure

External 外部

Internal 内部

Facing 面板

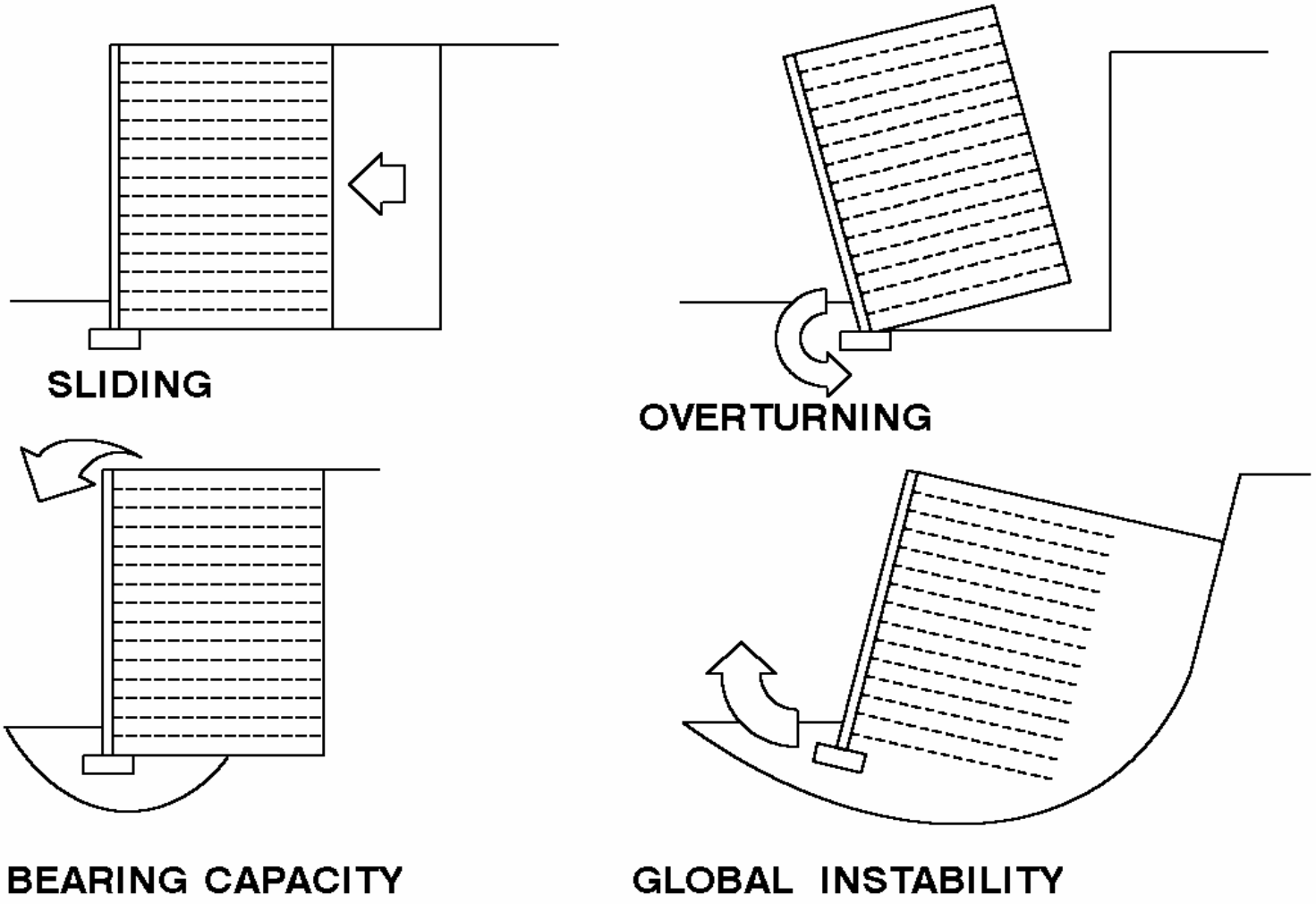


第七章 加筋

7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

加筋土挡墙的外部破坏模式：



7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

加筋土挡墙设计包括两个方面：

1. 拉筋的验算。
2. 整体稳定验算：

①抗滑移稳定性验算

②抗倾覆稳定性验算

③地基容许承载力验算

④整体稳定性验算

7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

加筋土挡墙设计包括两个方面：

1. 拉筋的验算。

一般先按经验初定一个断面，然后验算拉筋的受力，确定拉筋的设置，确定拉筋的长度。最后验算挡土结构的整体稳定性。若挡土结构的整体稳定性不能满足要求，则需调整拉筋的设置；若稳定性验算安全系数偏大，可进一步进行优化，调整拉筋的设置以获得合理断面。

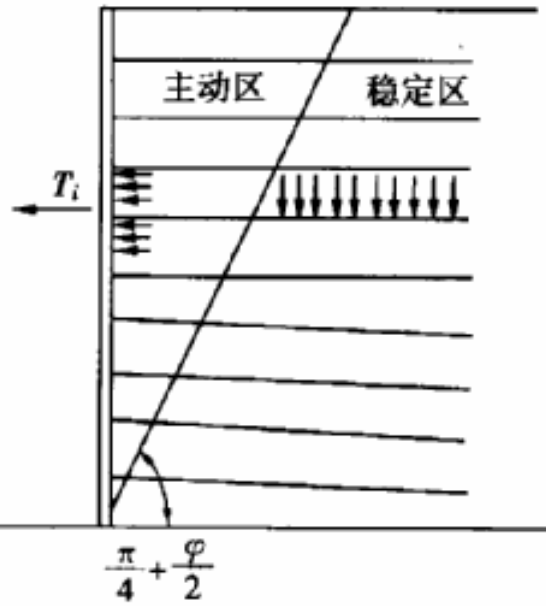


图 7-3-2 加筋土挡墙筋体受力分析（朗金法）

$$T_i = \sigma_v K_i S_x S_y \qquad (7\text{-}3\text{-}1)$$

式中 σ_v——加筋体上承受的竖向压力；

K_i——土压力系数；

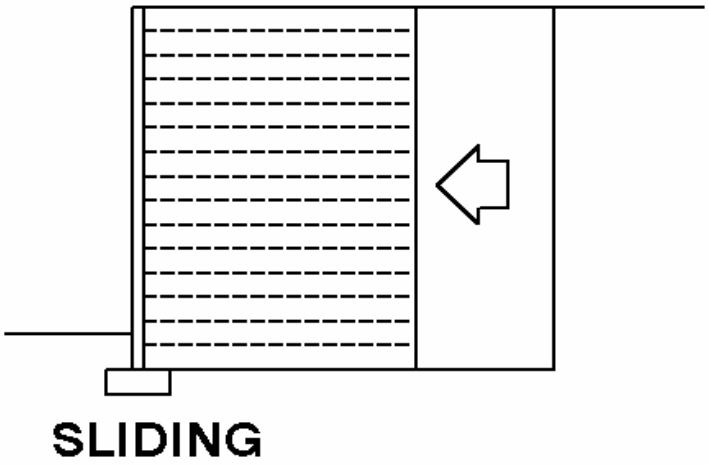
S_x，S_y——分别为加筋土中加筋体的水平向和竖向间距。

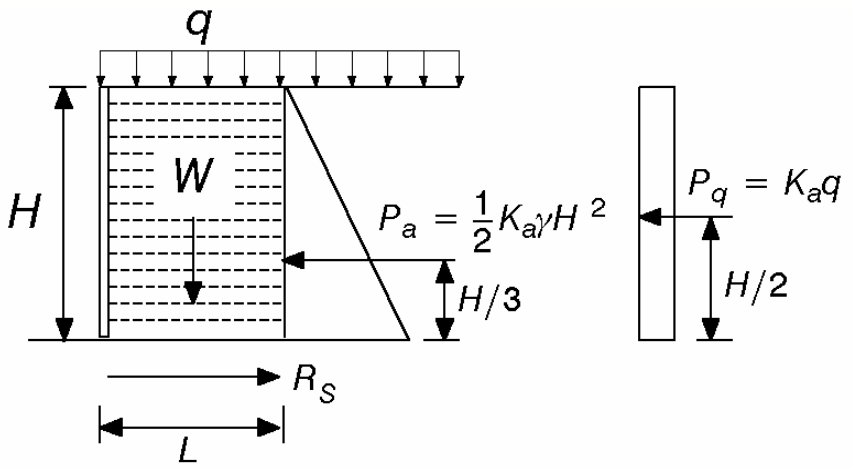
7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

Base sliding(基础滑动)

稳定性计算





$$F.O.S = \frac{resisting\ force}{driving\ forces} = \frac{R_S}{P_a + P_q}$$

$$F.O.S = \frac{(W + qL) \times \mu}{P_a + P_q}$$

check sliding at soil−geosynthetic interface:

soil−geotextile: (Task Force 27)

$$\mu = \tan\phi_{sg} = \tan(2/3)\phi$$

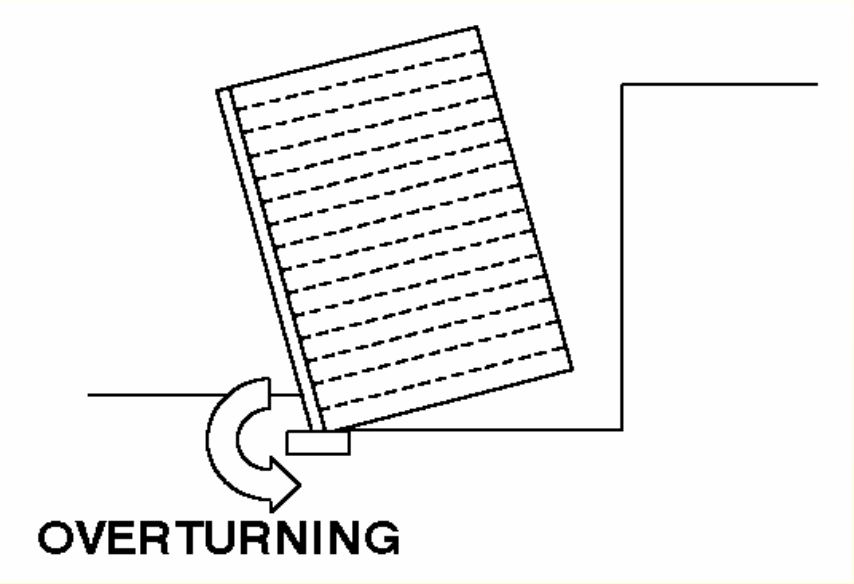
$F.O.S \geq 1.5$ (FHWA 1989)

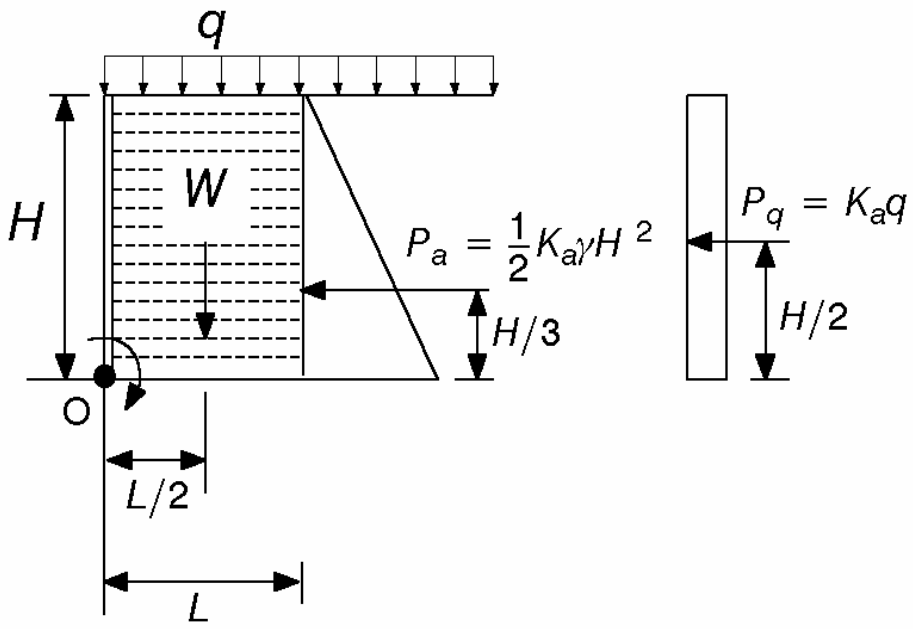
7.3 加筋土挡墙

Dr. Han WX

Overturning（倾倒）

稳定性计算





$$F.O.S = \frac{\sum resisting\ \ moments}{\sum driving\ \ moments}$$

$$F.O.S = \frac{(W + qL) \times L/2}{P_a \times H/3 + P_q \times H/2}$$

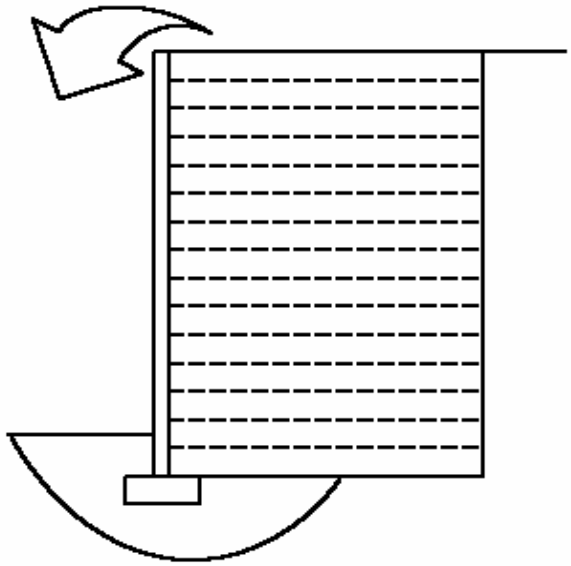
$$F.O.S \geq 2.0 \qquad (\text{FHWA 1989})$$

7.3 加筋土挡墙

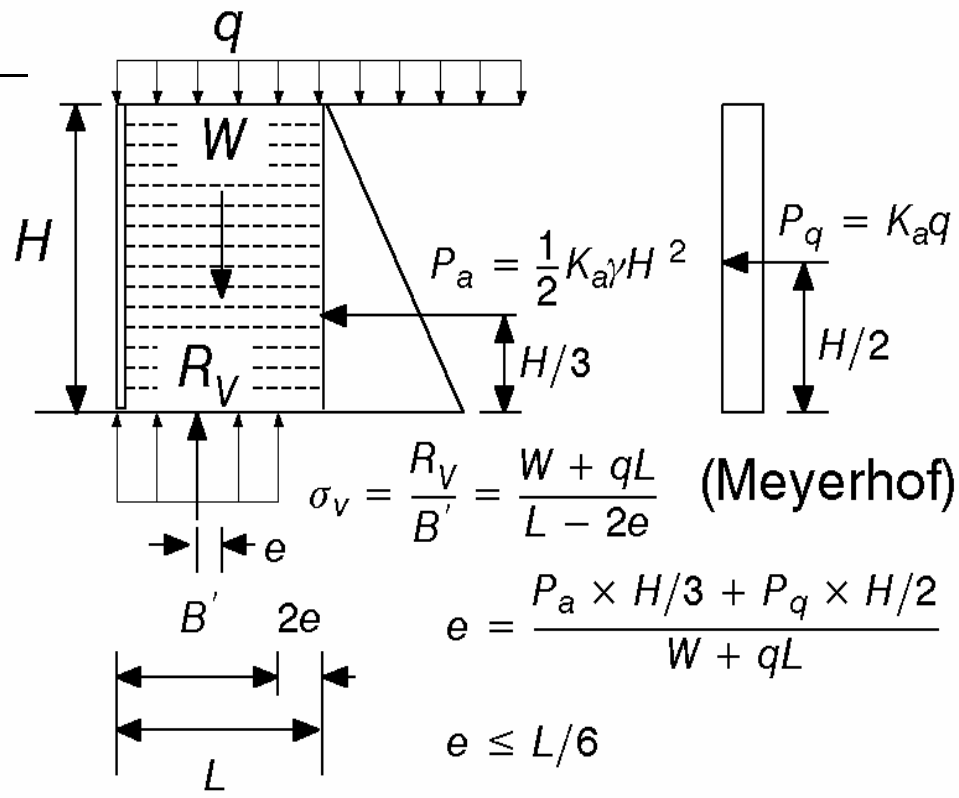
Dr. Han WX

Bearing capacity（承载力）

稳定性计算



BEARING CAPACITY



$$\sigma_v = \frac{R_V}{B'} = \frac{W + qL}{L - 2e} \quad \text{(Meyerhof)}$$

$$e = \frac{P_a \times H/3 + P_q \times H/2}{W + qL}$$

$$e \le L/6$$

$$F.O.S = \frac{cN_c(\phi) + \frac{1}{2}\gamma B' N_\gamma(\phi)}{R_V/B'}$$

$$F.O.S \ge 2.0 \qquad \text{(FHWA 1989)}$$

7.4 锚杆和土钉支护

Dr. Han WX

7.4.1 锚杆和土钉

锚杆通常由锚固段、非锚固段和锚头三部分组成，锚固段处于稳定土层，一般对锚杆施加预应力。通过锚杆提供较大的锚固力，维持和提高边坡稳定。

土钉通常采用钻孔、插筋、注浆法在土层中设置，或直接将杆件插入土层中形成土钉。土钉一般布置较密，类似加筋，通过提高复合土体抗剪强度，以维持和提高土坡的稳定性。

典型的锚杆和土钉支护示意图：

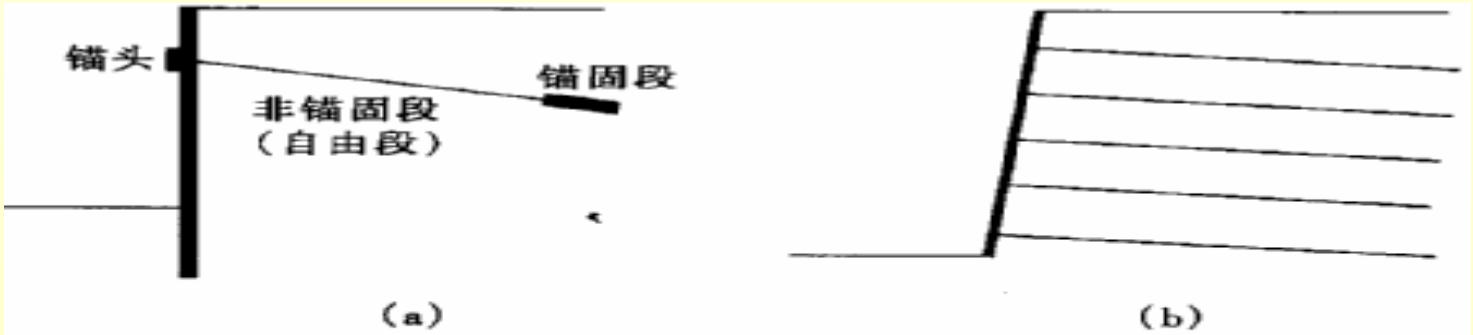


图 7-4-1 锚杆和土钉支护示意图

（a）典型锚杆示意图；（b）土钉支护示意图

7.4 锚杆和土钉支护

Dr. Han WX

7.4.2 锚杆加固

用途：加固地下建筑物、基坑围护、边坡稳定加固、防止坝体和桥台等发生倾覆的加固，以及抵抗浮托力地下工程的加固等。在天然地层中的锚杆加固方法多以钻孔灌浆为主，一般称为灌浆锚杆。灌浆锚杆的受拉杆件有粗钢筋、高强钢丝、钢绞丝等不同的类型。

施工工艺有：常压和高压灌浆、化学灌浆以及许多特殊的专利锚固灌浆技术。

7.4 锚杆和土钉支护

Dr. Han WX

7.4.2 锚杆加固

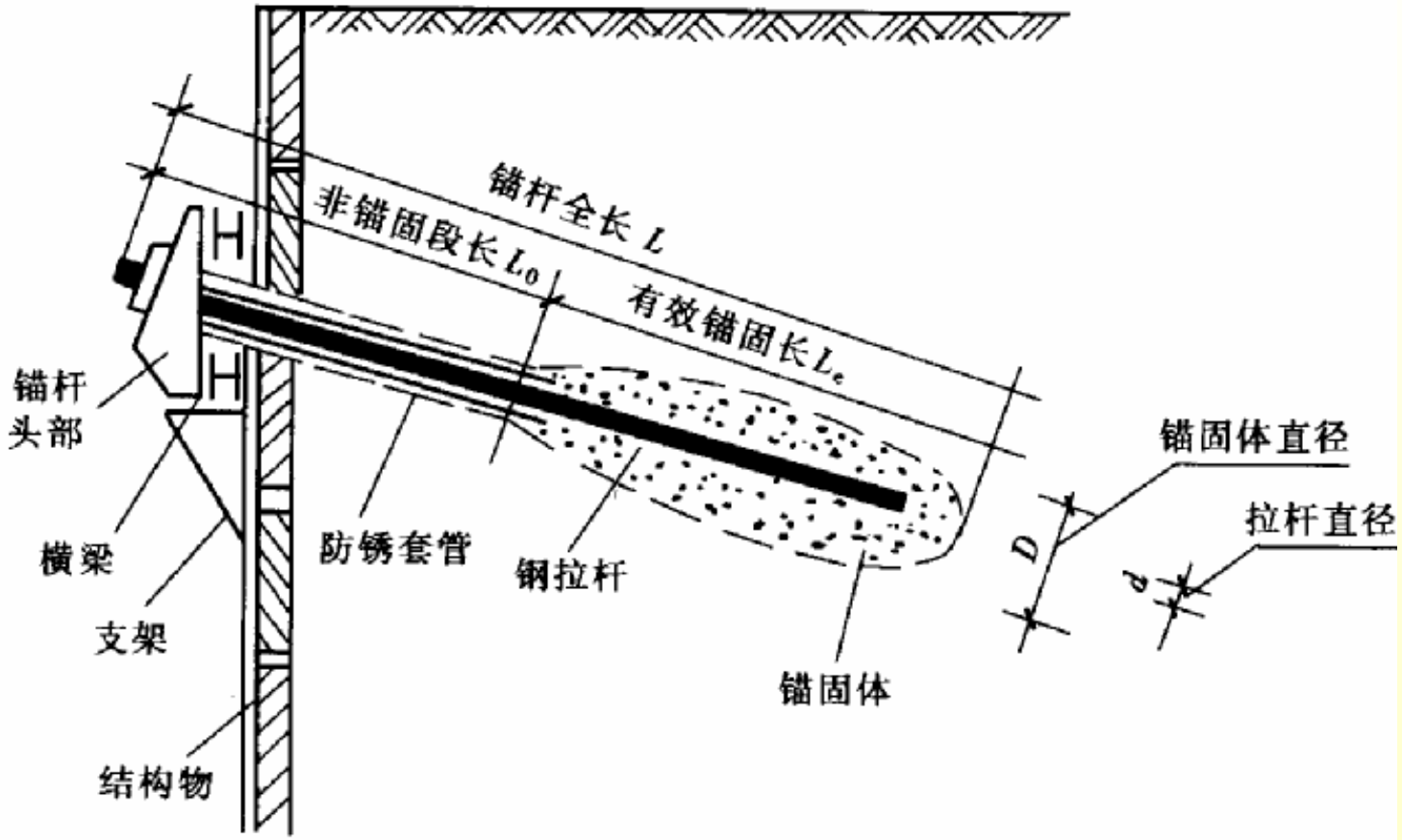


图 7-4-2 锚杆的组成

7.4 锚杆和土钉支护

7.4.2 锚杆加固

锚杆设计包括锚固体、拉杆及锚杆头部三个部分的设计。

(1)锚杆头部

包括台座、承压板和紧固器三部分。

要保证锚头本身的材料有足够强度、又能将集中力分散开。

(2)拉杆设计

有效锚固长度取决于每根锚杆需要提供的的抗拔力。非锚固段长度取决于锚杆穿过墙体背后的潜在滑动面达到稳定层面之间的实际距离。

(3)锚固体设计

通过锚固体与土层之间的相互作用，将锚固力传递给地层。

第七章 加筋

7.4 锚杆和土钉支护

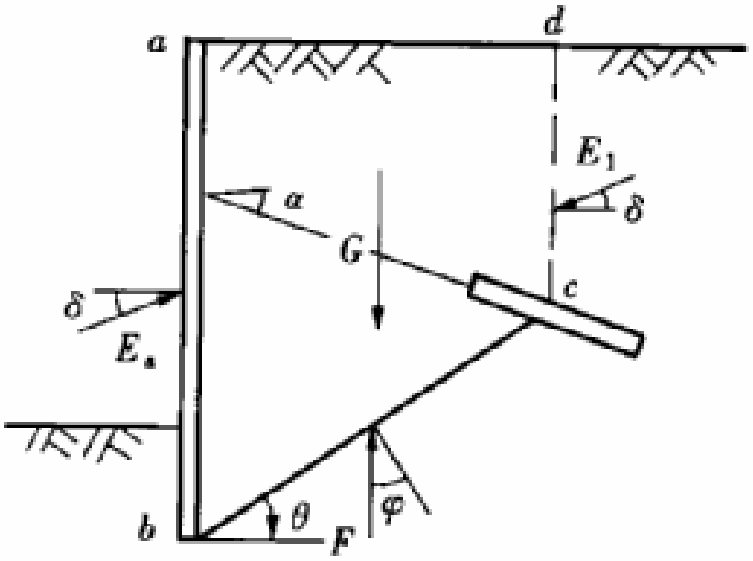
Dr. Han WX

7.4.2 锚杆加固

单层锚杆

整体稳定

性验算



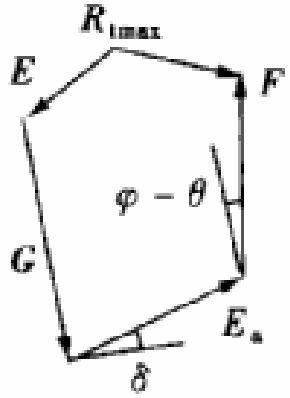


图 7-4-3 单层锚杆深部破裂的稳定性验算

G—深部破裂面范围内土体重量；E_a—作用在基坑支护上的主动土压力的反力；E_1—作用在 ad 面上的主动土压力；F—bc 面上反力的合力；φ—土的内摩擦角；δ—基坑支护与土体间的摩擦角；θ—深部破裂面与水平面的夹角；α—锚杆倾角

$$K_s = \frac{R_{tmax}}{N_t} \geqslant 1.5 \qquad (7\text{-}4\text{-}2)$$

7.4 锚杆和土钉支护

Dr. Han WX

7.4.2 锚杆加固

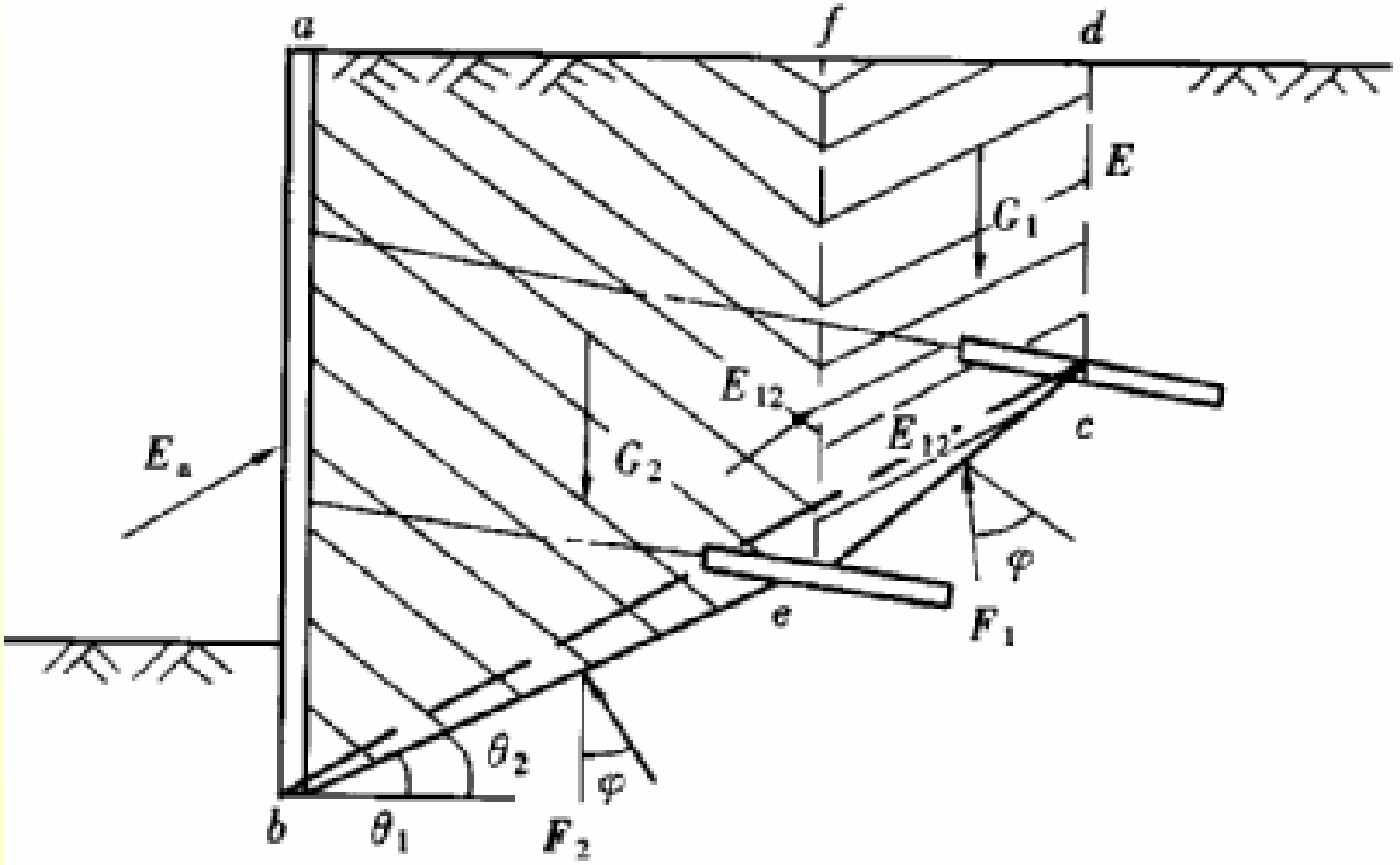


图 7-4-4 双层锚杆深部破裂面稳定性验算

7.4 锚杆和土钉支护

Dr. Han WX

7.4.3 土钉支护

土钉支护计算模型大致可以分为两类：土钉墙计算模型和边坡锚固稳定计算模型。

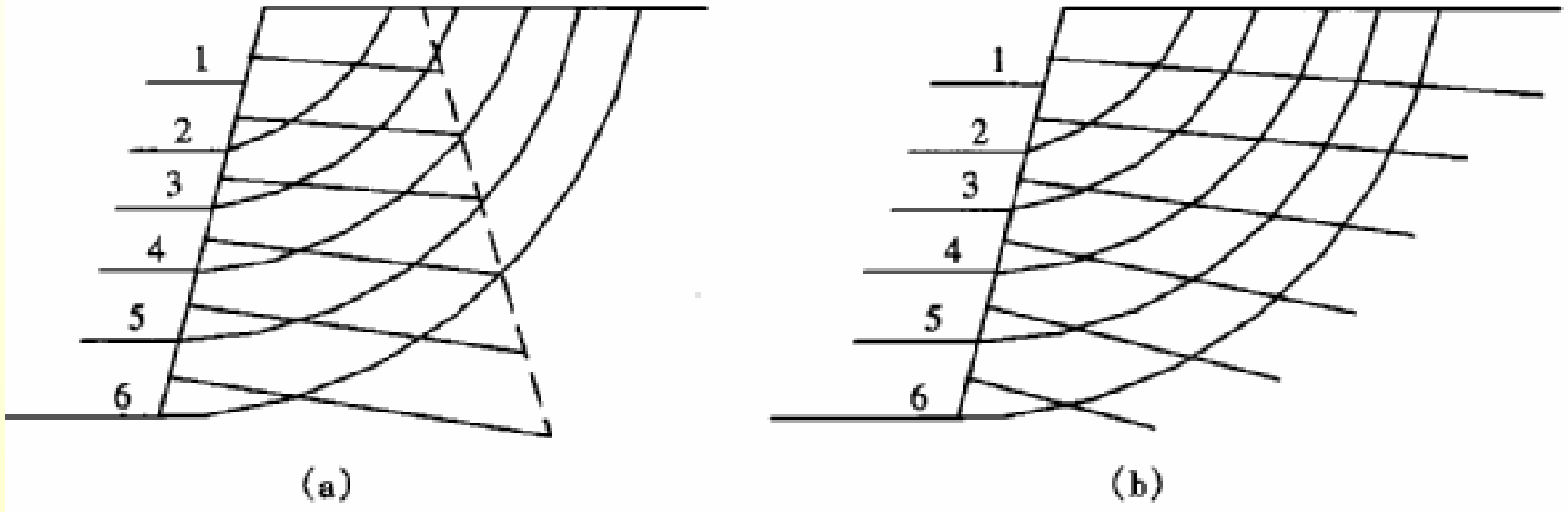


图 7-4-5 土钉支护形式

(a) 上短下长；(b) 上长下短

7.4 锚杆和土钉支护

Dr. Han WX

7.4.3 土钉支护

适用范围：

土钉支护不能止水，因此要求不能有渗流通过边坡土体。下述情况可考虑采用土钉支护：地下水位低于基坑底部；通过降水措施(如井点降水、管井降水等)将地下水位降至基坑底部以下；地下水位虽然较高，但土体渗透系数很小，开挖过程中土坡表面基本没有渗水现象，也可采用土钉支护，但要控制开挖深度和开挖历时；在地下水位较高时，设置止水帷幕，也可采用土钉支护。当土层渗透系数较大，地下水较丰富时，通过止水帷幕设置土钉常常会遇到困难，应予以重视。不能有效解决地下水渗流问题，往往造成土钉支护失效，应引起充分重视。

7.4 锚杆和土钉支护

Dr. Han WX

7.4.4 复合土钉支护

复合土钉支护是以土钉支护为主，辅以其他补强措施以保持和提高土坡稳定性的复合支护形式。复合土钉支护是一个比较笼统的概念。常用复合土钉支护形式如图74-6中所示。

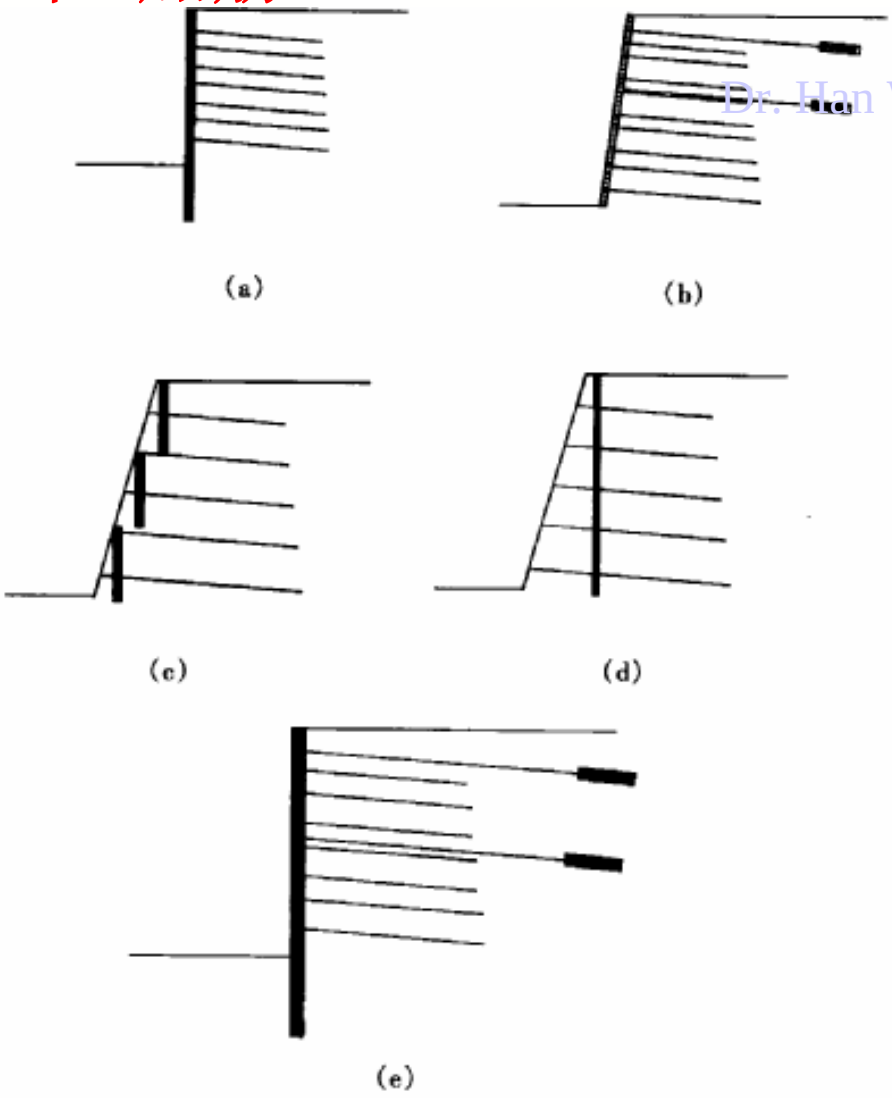


图 7-4-6 常用复合土钉支护形式

(a) 挡墙与土钉支护结合；(b) 锚杆与土钉支护结合；(c) 微型桩和土钉支护结合 (1)；(d) 微型桩和土钉支护结合 (2)；(e) 挡墙、锚杆和土钉支护结合

第七章 加筋

7.5 锚定板挡土结构

Dr. Han WX

锚定板结构是一种用于人工填土的支挡结构，如图7-5-1所示。

锚定板结构由墙面、钢拉杆、锚定板和填土共同组成。它的墙面用预制的钢筋混凝土肋柱和挡板拼装，钢拉杆的外端与肋柱连接，内端与锚定板连接。填土的侧压力通过墙面传至钢拉杆，钢拉杆则依靠锚定板在填土中的抗拔力而维持平衡。

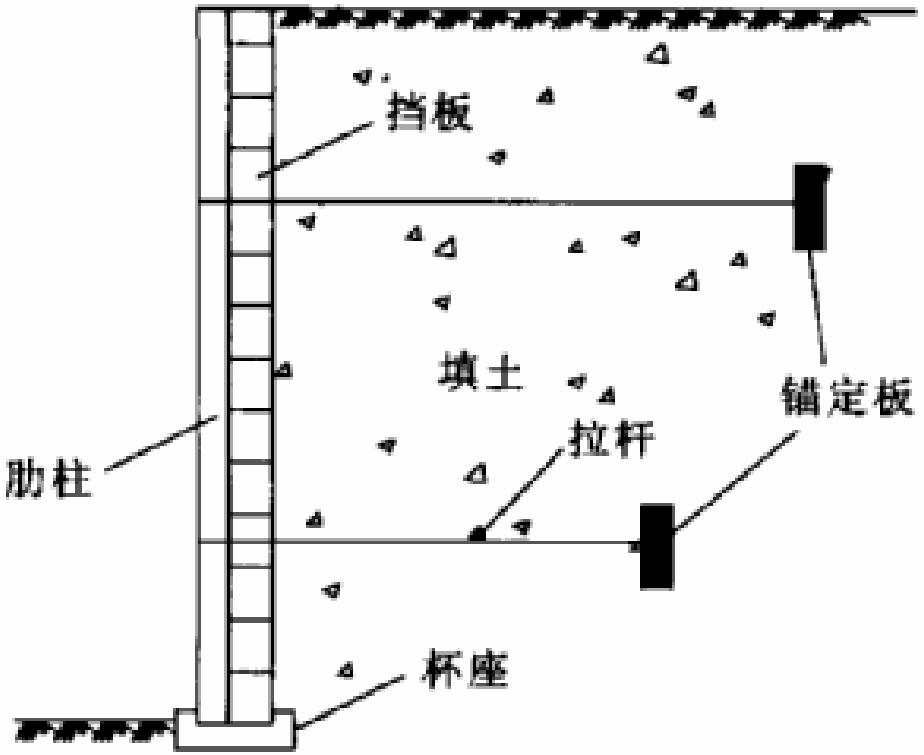


图 7-5-1 锚定板挡土结构示意图

第七章 加筋

7.5 锚定板挡土结构

Dr. Han WX

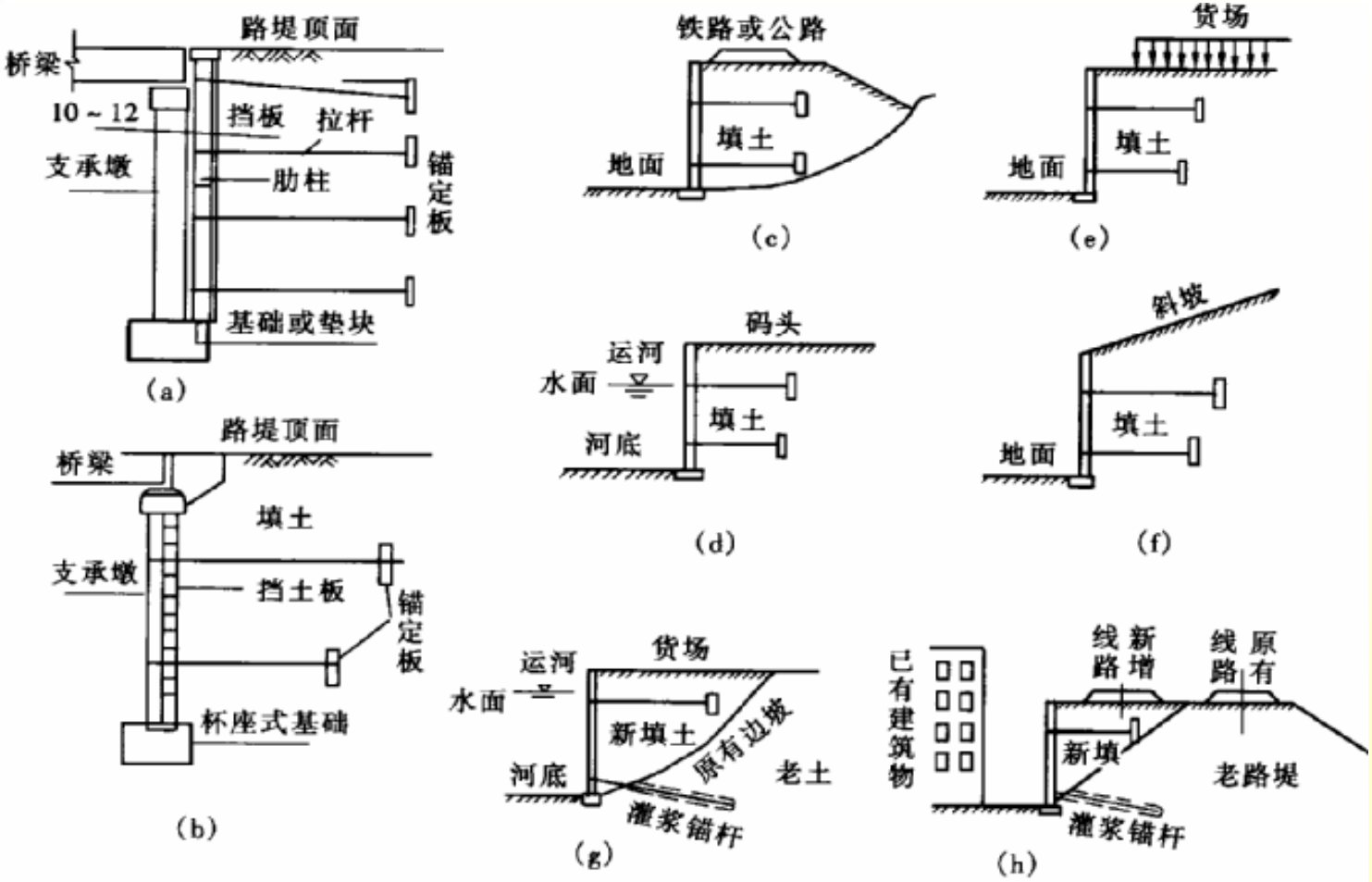


图 7-5-2 锚定板结构的用途

(a) 分开式桥台；(b) 结合式桥台；(c) 路肩墙；(d) 码头墙；(e) 货场墙；(f) 坡脚墙；(g) 货场码头墙；(h) 某单线路堤改为双线设计

7.6 低强度桩复合地基

Dr. Han WX

7.6.1低强度桩复合地基概念

凡桩体复合地基中的竖向增强体是由低强度桩形成的复合地基，可以统称为低强度桩复合地基。

低强度桩桩身强度低是与钢筋混凝土桩、钢管桩相比较而言。低强度桩常用水泥、石子及其他掺合料(如砂、粉煤灰、石灰等)加水拌和，用各种成桩机械在地基中制成的强度等级为C5-C25的桩。低强度混凝土桩复合地基的承载力较大、沉降较小。

施工工艺简单，施工速度快。

7.6 低强度桩复合地基

7.6.2 低强度桩复合地基承载力和沉降计算

1. 低强度桩复合地基承载力计算

低强度桩复合地基承载力计算包括三部分：单桩承载力计算、复合地基承载力计算和复合地基加固区下卧层承载力验算.单桩承载力特征值为：

$$R_a = \Sigma q_{sai} S_p l_i + \alpha A_p q_{pa} \tag{7-6-1}$$

两式取小值。

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \tag{7-6-2}$$

低强度桩复合地基承载力特征值 f_{ck} 可用下式表示：

$$f_{ck} = m \frac{R_a}{A_p} + \lambda(1 - m) f_{sk} \tag{7-6-3}$$

7.6 低强度桩复合地基

7.6.2 低强度桩复合地基承载力和沉降计算

2．低强度桩复合地基沉降计算

低强度桩复合地基的沉降由三部分组成，一是加固区的压缩量S1，二是加固区的下卧土层的压缩量S2，三是垫层的压缩量S3。复合地基的总沉降量S为：

$$S=S_1+S_2+S_3$$

垫层压缩量较小，一般忽略不计。

复合地基加固区变形量S_1的计算方法主要有：复合模量法、应力修正法和桩身压缩量法，应用时需针对各类复合地基的特点，选用其中一种或几种方法计算。下卧土层的压缩量S_2的计算通常采用分层总和法.

7.6 低强度桩复合地基

7.6.3 低强度桩复合地基设计

设计计算步骤如下：

(1)根据工程地质条件，初步确定低强度桩桩长。如能穿透较软弱土层，一般宜穿透软弱土层，进入较好土层1．0m左右。

(2)初步确定桩径和桩体强度。原则上使由桩体强度确定的单桩承载力和由桩侧摩阻力和端承力之和确定的单桩承载力两者比较接近。

(3)通过室内试验确定桩体材料的配合比以及有关施工参数。

(4)根据地基承载力要求，确定复合地基置换率

(5)确定布桩数，桩位设计

(6)垫层设计

(7)验算复合地基沉降

7.7 刚性桩复合地基

Dr. Han WX

凡桩体复合地基中竖向增强体是刚性桩形成的复合地基，可以统称为刚性桩复合地基。

刚性桩复合地基承载力可计算：

刚性桩复合地基极限承载力 P_{cf} 可采用下式计算：

$$P_{cf} = K_1 m P_{pf} + K_2 \lambda (1 - m) P_{sf} \tag{7-7-1}$$

式中 P_{pf}——单桩极限承载力，kPa；

P_{sf}——天然地基承载力，kPa；

K_1——复合地基中桩体极限承载力修正值；

K_2——桩间土极限承载力修正值；

λ——复合地基破坏时，桩间土强度发挥度。

刚性桩复合地基承载力 P_C 为：

$$P_C = P_{cf} / K \tag{7-7-2}$$

式中 K——安全系数。

7.7 刚性桩复合地基

Dr. Han WX

刚性桩复合地基设计思路：

(1)桩土固定比例分担荷载

根据工程特性和地区经验人为规定桩土分担比例。

(2)先土后桩分担荷载

先充分利用天然地基承载力，不足部分利用桩基础补充。或者先利用一定比例的天然地基承载力(例如60%或50%)，不足部分采用桩基础补充。

(3)按沉降量控制设计

按沉降量控制设计时，桩数的选用是根据设计沉降量确定的。确定桩数后再进行刚性桩复合地基的承载力验算。

(4)按变形分担荷载

按变形分担承载力计算应该是比较合理的。

7.7 刚性桩复合地基

Dr. Han WX

刚性桩复合地基沉降计算：

沉降来自：垫层的压缩量、桩体的压缩量、桩上、下端的刺人量，以及桩下土层的压缩量。垫层的压缩量一般不大，可予以忽略。

刚性桩复合地基中的桩体压缩量其值也不大。其上限值也容易计算，可采用弹性理论计算轴向压缩量。

桩的刺人量和桩下土层的压缩量是刚性桩复合地基可能产生较大沉降量的主要原因。若桩下压缩层较厚时，桩下土层压缩量所占比例最大。

实际工程中，刚性桩复合地基中的桩体往往进入较好的土层，以减小桩下土层压缩量。控制了桩下土层的压缩量，也就控制了刚性桩复合地基的沉降量。 刚性桩复合地基桩下土层压缩量可参考一般复合地基加固区下卧层压缩量计算方法计算 。

7.8 长短桩复合地基

Dr. Han WX

7.8.1 概念

在荷载作用下，地基中的附加应力随着深度增加而减小。为了更有效地利用复合地基中桩体的承载潜能，竖向增强体(桩体)复合地基中，桩体的长度可以取不同的长度以适应附加应力由上而下减小的特征。由不同长度的桩体组成的桩体复合地基称为长短桩复合地基。

采用长短桩复合地基应重视其形成条件，要确保在上部结构荷载作用下，长桩、短桩和桩间土同时直接承担由基础传递的荷载。

第七章 加筋

7.8 长短桩复合地基

Dr. Han WX

7.8.1 概念

长短桩复合地基的形式很多。长桩和短桩可以采用同一种桩型，也可以采用不同的桩型。在工程应用上，长桩常采用刚度较大的桩，这样可以将应力传递给较深的土层。长桩常采用低强度桩、钢筋混凝土桩、钢管桩等桩型。短桩常采用散体材料桩和柔性桩，如碎石桩、水泥土桩、石灰桩等。

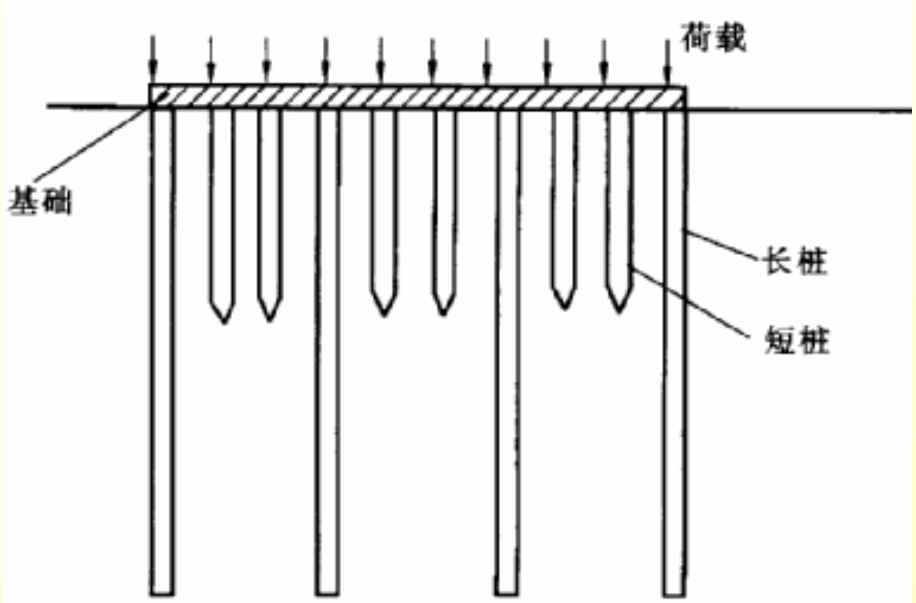


图 7-8-1 长短桩复合地基示意图

7.8 长短桩复合地基

7.8.2 长短桩复合地基承载力和沉降计算

长短桩复合地基承载力计算思路同一般复合地基承载力计算思路相同。长短桩复合地基计算思路是分别计算长桩部分的承载力、短桩部分的承载力和桩间土的承载力，然后根据一定的原则叠加形成复合地基承载力。

其极限承载力为：

$$P_{cf} = K_{11}\lambda_{11}m_1P_{p1f} + K_{12}\lambda_{12}m_2P_{p2f} + K_2\lambda_2(1 - m_1 - m_2)P_{sf} \qquad (7\text{-}8\text{-}1)$$

式中 P_{p1f}——长桩单桩极限承载力，kPa；

7.8 长短桩复合地基

7.8.2 长短桩复合地基承载力和沉降计算

长短桩复合地基的容许承载力 P_{cc} 计算式为：

$$P_{cc} = \frac{P_{cf}}{K} \tag{7-8-2}$$

式中 K——安全系数。

若采用承载力特征值表示，又能有效地确定复合地基中长桩、短桩和桩间土的承载力特征值，则长短桩复合地基承载力特征值表达式为：

$$f_{ck} = m_1 \frac{R_{k1}}{A_{p1}} + \lambda_1 m_2 \frac{R_{k2}}{A_{p2}} + \lambda_2 (1 - m_1 - m_2) f_{sk} \tag{7-8-3}$$

7.8 长短桩复合地基

Dr. Han WX

7.8.2 长短桩复合地基承载力和沉降计算

长短桩复合地基沉降计算一般可采用图7-8-2所示的示意图分层计算。总沉降量S由三部分组成，短桩加固区内的土层压缩量S1，短桩加固区以下的长桩加固区部分土层压缩量S2，长桩加固区以下土层压缩量S3，即$S=S_1+S_2+S_3$

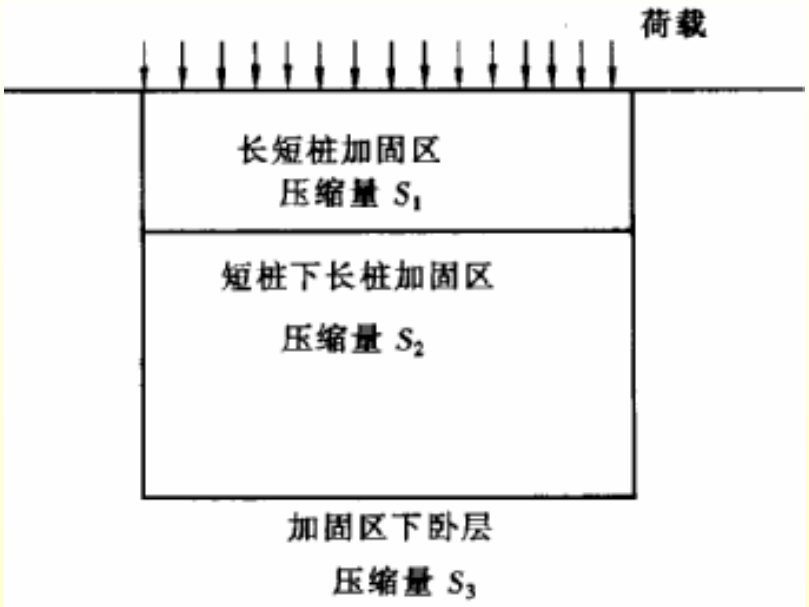


图 7-8-2 长短桩复合地基沉降计算示意图

7.8 长短桩复合地基

7.8.2 长短桩复合地基承载力和沉降计算

为简化计算，可以采用分层总和法计算土层压缩量，S1和S2可采用复合模量计算。对应压缩量S1的复合模量计算式为：

$$E_{cs1} = m_1 E_{p1} + m_2 E_{p2} + (1 - m_1 - m_2) E_s \qquad (7\text{-}8\text{-}5)$$

式中 E_{p1}——长桩压缩模量；

E_{p2}——短桩压缩模量；

E_s——桩间土压缩模量。

对应压缩量 S_2 的复合模量计算式为：

$$E_{cs2} = m_1 E_{p1} + (1 - m_1) E_s \qquad (7\text{-}8\text{-}6)$$

7.8 长短桩复合地基

7.8.3 长短桩复合地基设计思路

长短桩复合地基设计包括长桩和短桩桩型的选用，长桩的桩长、桩径、桩距，短桩的桩长、桩径和桩距的确定，有时还包括垫层的设计。长桩和短桩在复合地基中效用是相互影响的。因此长短桩复合地基设计最好采用优化设计思路，以求得到较合理的设计。可采用下述设计步骤进行设计：

1. 长桩和短桩的桩型选用
2. 长桩和短桩桩长的确定
3. 长桩和短桩桩数的确定
4. 垫层设计