第五章 地基处理
Ground improvement

§5.1 概述

§5.2 置换法

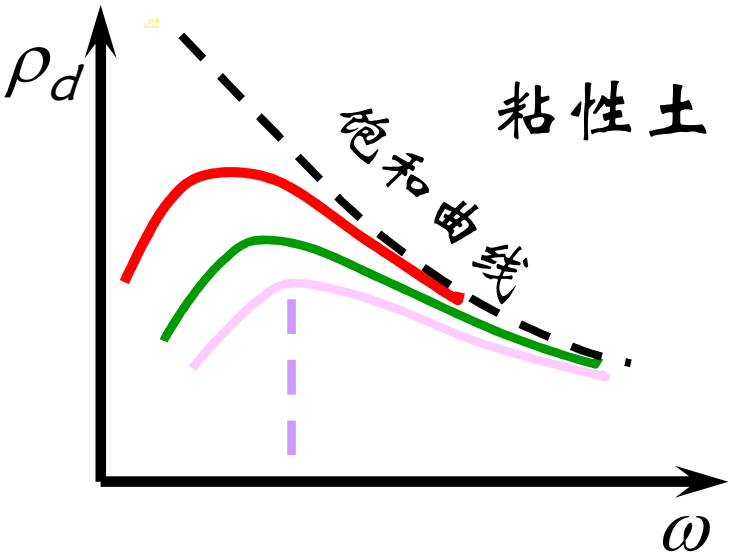
§5.3 加密法

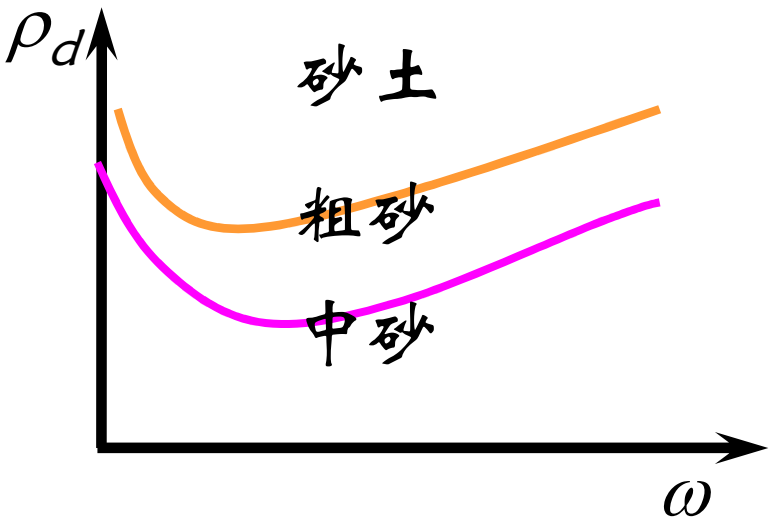
§5.4 胶结法

§5.5 加筋法

§5.3 加密法　Densification

目的：降低压缩性，提高强度





粘性土在标准压实功下达到最密时的含水量称为最优含水量，对应的干密度称为最大干密度

砂土：不存在最优含水量；完全风干和饱和两种状态易于击实；潮湿状态不易击实

5.3.1 机械压密法 目的：降低压缩性，提高强度

1 静重压密
2 冲击荷重压密
3 振动压密

5.3.2 深层挤密法（重点）

1 砂桩、土桩和灰土桩
2 振冲桩

5.3.3 强夯法

5.3.4 预压固结（重点）

1 静重碾压 Compaction by rolling

羊足碾－粘性土或粉土 Sheepsfoot roller

INTERNATIONAL

静重-振动碾压 Compaction by rolling

2 冲击荷重压密

夯板压密：适用于填土 松砂和湿陷性土

影响深度：1.5~2.5m

3 振动板压密

振动平板碾一级配砂或者砂、砾和粘性土的混合土

Vibrating plate for hand operation

Fig. 8.45 A rectangular baseplate vibrator in use at Glen Elder Dam spillway, Kansas.

平滑鼓型振动碾 Vibrocompaction for sand

5.3.2 深层挤密法（重点）

1 砂桩、土桩和灰土桩

2 振冲桩

5.2 置换法

- 一 垫层置换法
  - 软弱下卧层承载力验算
  - 垫层厚度限制
- 二 土桩置换法
  - 复合地基承载力
  - 土桩周围土体没有挤密

5.3 加密法

- 一 土桩挤密法
  - 复合地基承载力
  - 土桩周围土体被挤密
- 二 预压固结

5.4 胶结法

5.5 加筋法

5.3.2 深层挤密法

1 砂桩、土桩和灰土桩

1）沉管、柱锤冲扩法

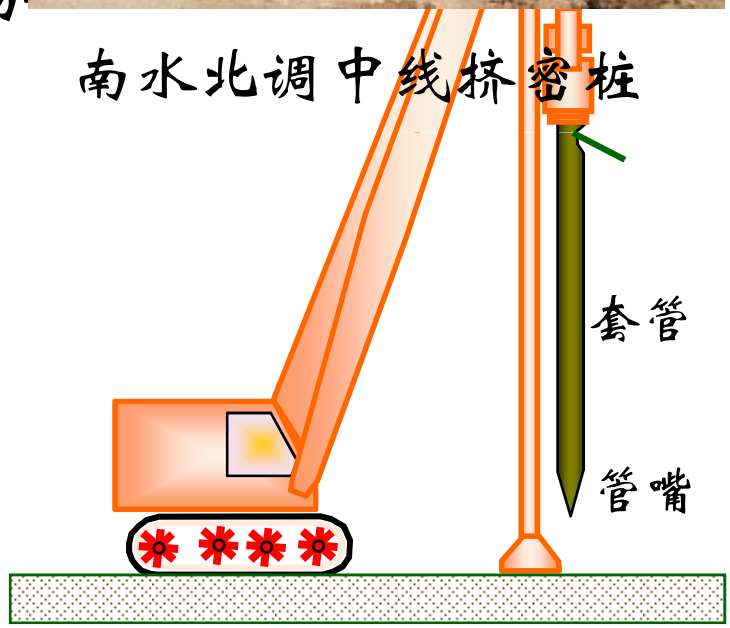
2）材料：砂桩，土桩(原状粉土,粉质粘土再夯入);灰土桩,砂石桩;夯实水泥土桩，二灰桩(加粉煤灰)

3）适用于填土,松砂,湿陷性黄土,一般粘性土Sr<60%. 饱和度高的粘性土不宜

4）砂桩挤密后作为均匀地基

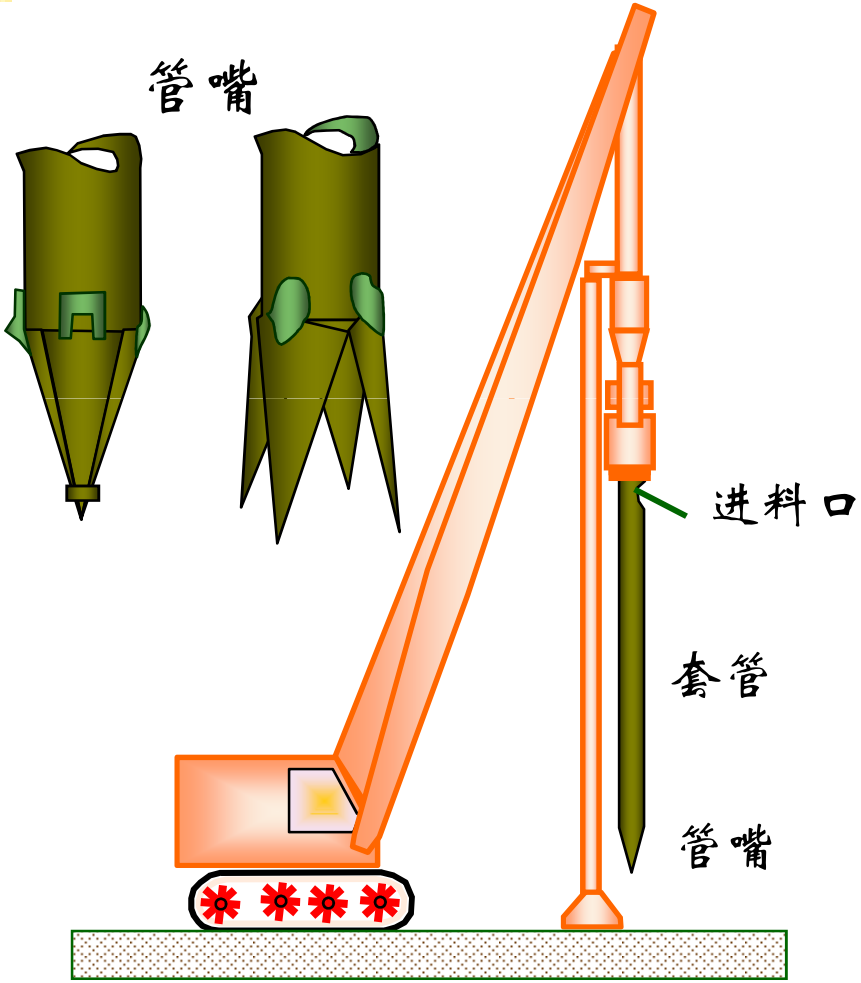
灰土桩与挤密土构成复合地基

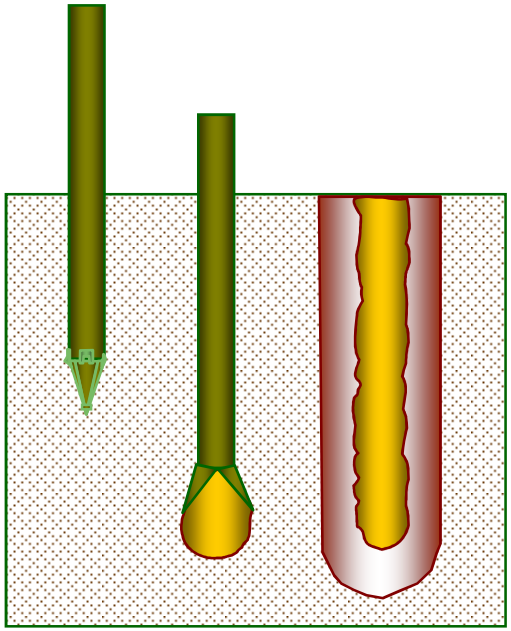
南水北调中线挤密桩

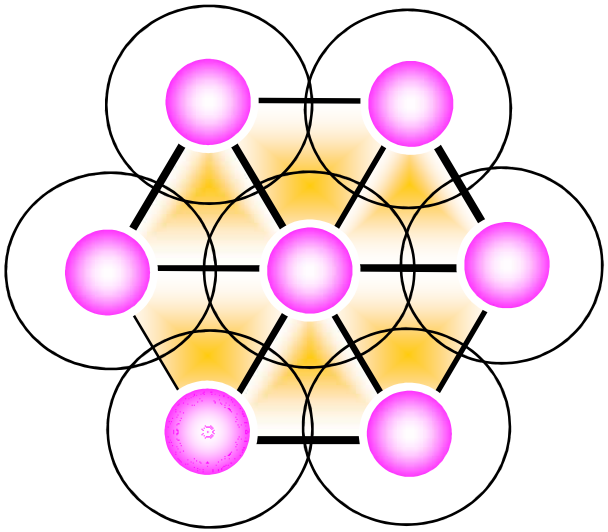


P247

1 砂桩、土桩和灰土桩　以砂桩为例



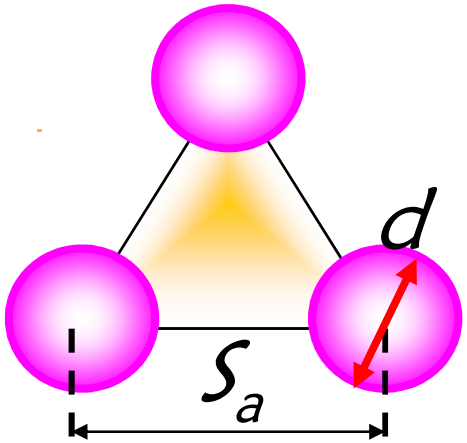




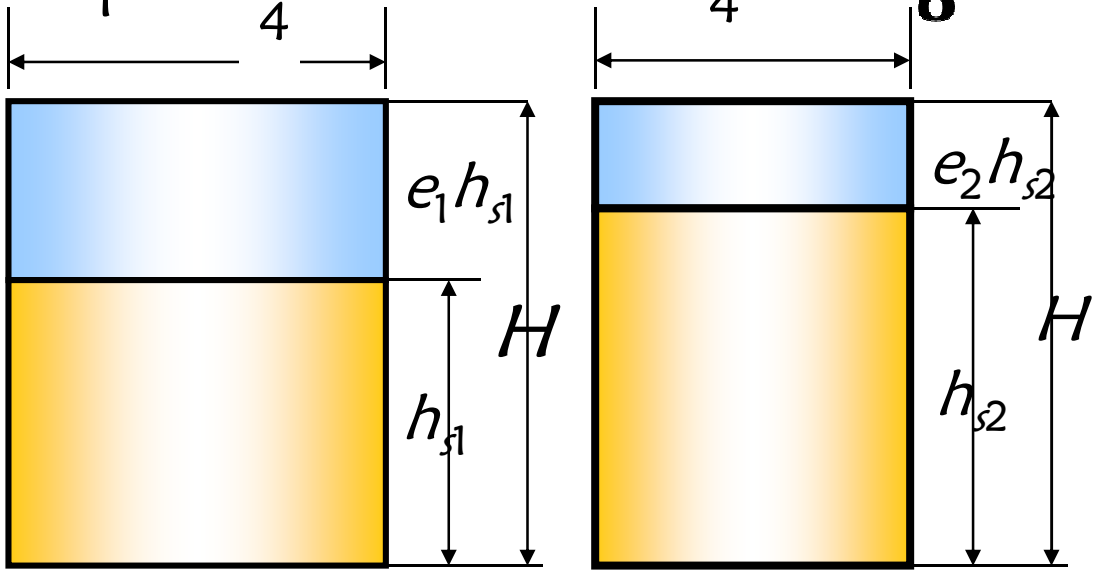
砂桩直径、间距设计

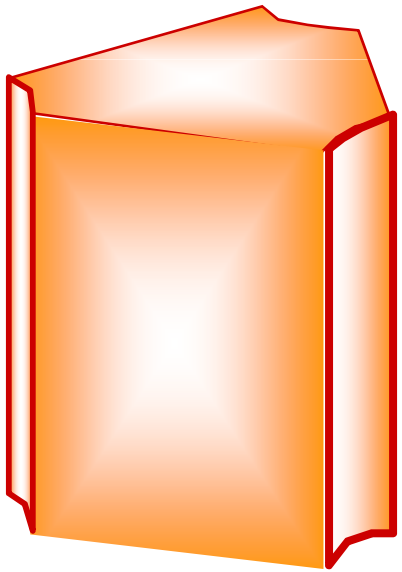
已知S_a, d 求e_2

或者已知e_2, d 求 S_a



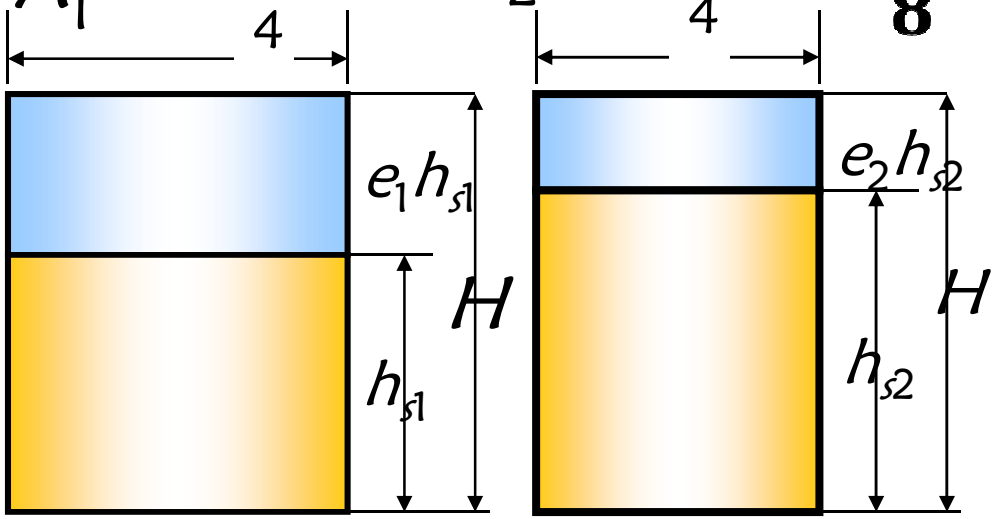
$$A_1 = \frac{\sqrt{3}S_a^2}{4} \qquad A_2 = \frac{\sqrt{3}S_a^2}{4} - \frac{\pi}{8}d^2$$





P249

$$A_1 = \frac{\sqrt{3}S_a^2}{4} \qquad A_2 = \frac{\sqrt{3}S_a^2}{4} - \frac{\pi}{8}d^2$$



已知S_a, d 求e_2 或者已知e_2, d 求S_a

砂桩直径、间距设计

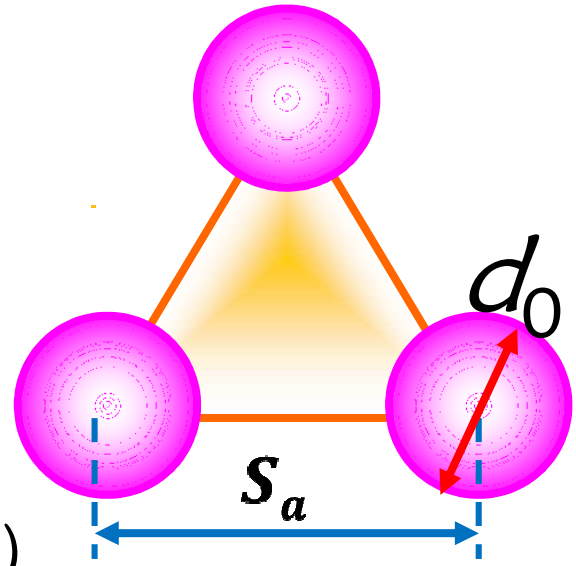
条件：$V_{s1} = V_{s2}$

$$\frac{A_1}{1+e_1} = \frac{A_2}{1+e_2}$$

总断面积	高度	固相比例	固相体积
$A_1 = \frac{\sqrt{3}S_a^2}{4}$	H	$1/(1+e_1)$	$V_{s1} = A_1 H/(1+e_1)$
$A_2 = \frac{\sqrt{3}S_a^2}{4} - \frac{\pi}{8}d^2$	H	$1/(1+e_2)$	$V_{s1} = A_2 H/(1+e_2)$

DEL

例辽宁省湿陷性黄土，灰土桩



(1) S_a = 90 cm, d_0 = 40 cm

加密前 e_1 = 0.96， ρ_d = 1.379

加密后 e_2 = 0.61， ρ_d = 1.679 (15点平均)

(2) 承载力，原状土 f_{0k} = 132 kPa

桩土应力比 $n = \sigma_p / \sigma_s = 3.48$， 置换率 m=0.179，

确定其加密后的承载力？

σ_s=158kPa P235 经过挤密的松散砂土可取原天然地基承载力特征值的1.2-1.5倍

DEL

公式计算： f_{spk}=[1+m(n-1)] σ_s=228kPa

载荷试验得到 f_{spk}=228kPa, σ_p =550kPa

2 振冲桩

源于德国

我国70年代引入

1) 设备,振冲器

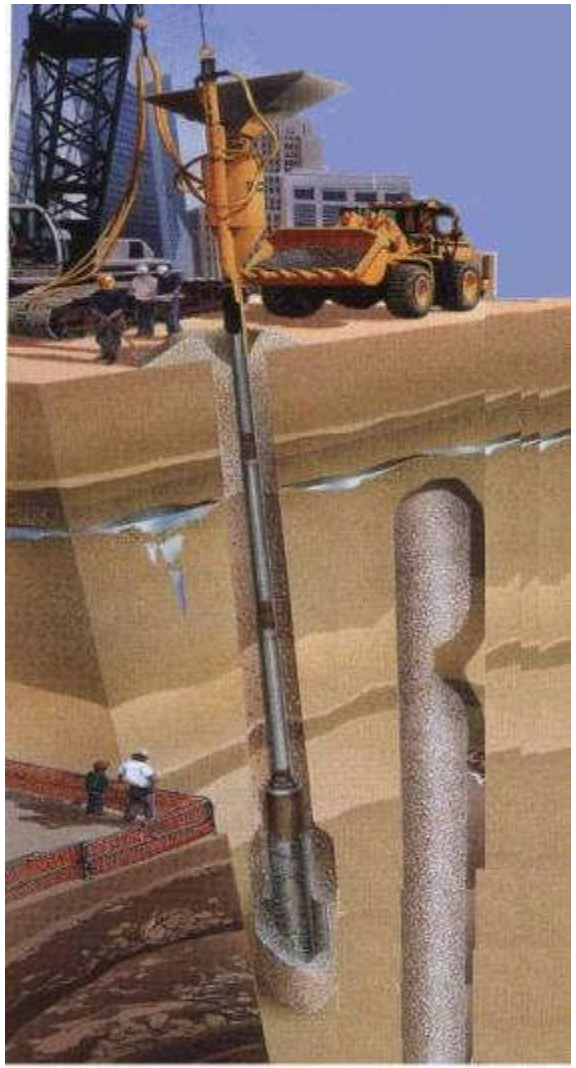
d=270~420mm

l=2~3m G=8~20 kN

2) 原理:

振:偏心轮旋转,使颗粒移动,振动加密

冲:高压水使土颗粒振浮液化固结



P250

3) 填料 粗颗粒(粘细粒少);级配好;最大颗粒 <50mm

$$S = 1.7\sqrt{\frac{3}{(D_{50})^2} + \frac{1}{(D_{20})^2} + \frac{1}{(D_{10})^2}}$$

0~10 最好
10~20
20~30
30~50 差
>50 不宜

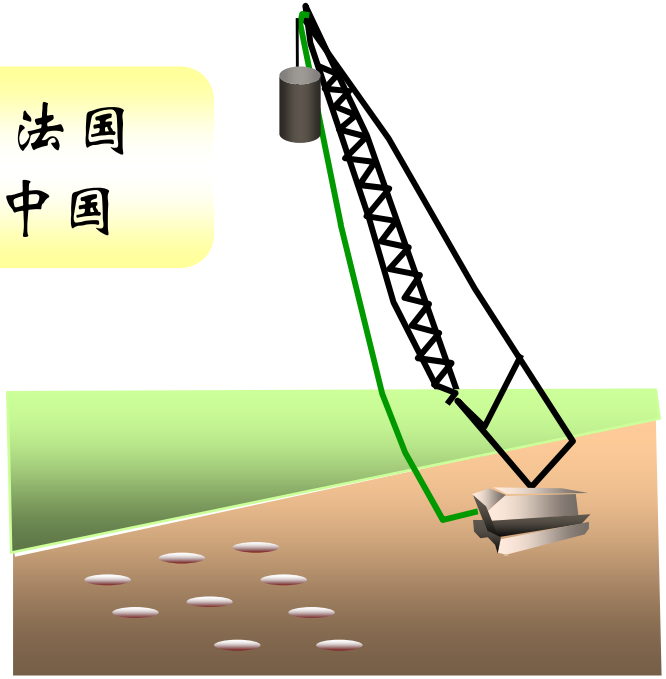
式 5-18

4) 适用于松砂，粉土，素填土,杂填土和一般粘性土,不适用于淤泥和淤泥质土

P251 例题5-4 了解

5.3.3 强夯法

1969年 法国
1978年 中国



锤重：8~25t，最大200t
落距：8~25m
有效深度：5~10m
承载力：180~250kPa
强夯设备：夯锤，起重机，脱钩装置

加固机理：动态能量 冲击波的传播 挤密土体
产生裂缝 形成排水通道 加快孔压消散

加固效果：提高承载力 减小沉降 降低液化可能 降低湿陷性

适用土类：适用土类广 高饱和度软粘土慎用

优 缺 点：经济；噪音

P252

5.3.4 预压固结法

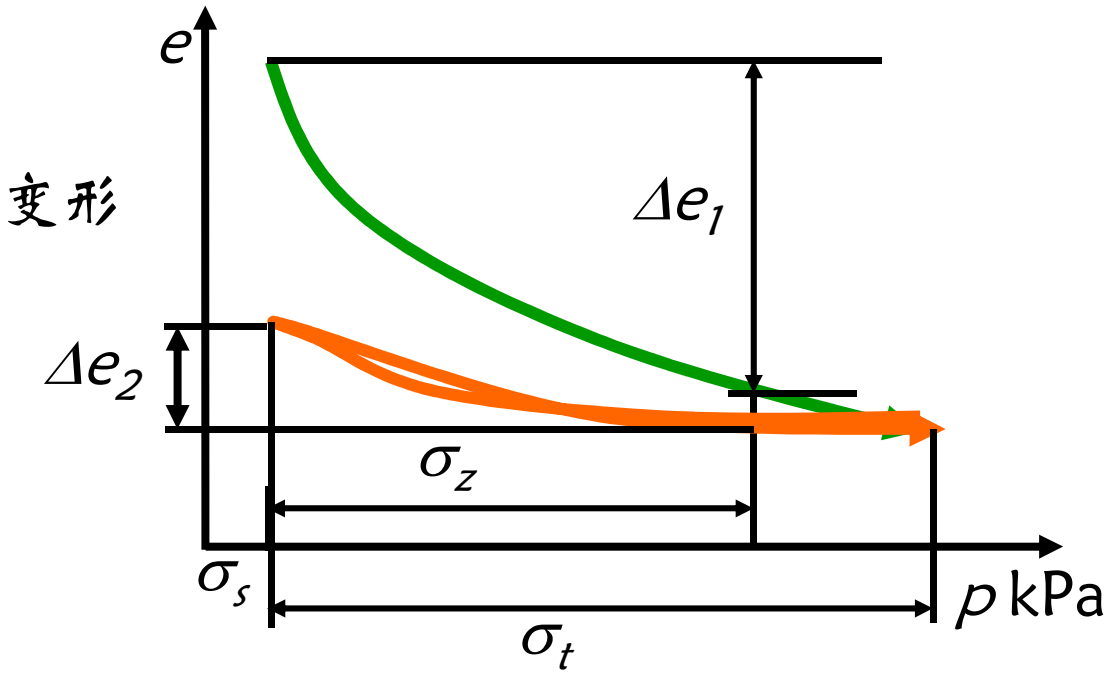
堆载预压

降水预压　适用饱和软粘土

真空预压

1 堆载预压 (Preloading)

1） 预压原理，原位自重应力σ_s，建筑物附加应力σ_z，预加压力σ_t=(1.2~1.5) σ_z，降低沉降 提高强度



P256

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2}{4} T_v}$$

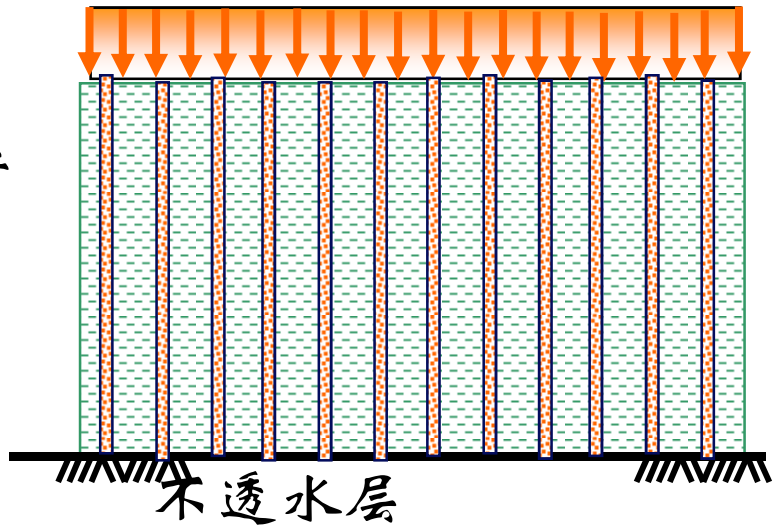
2) 预压历时和加速排水方法

例：10 m厚饱和软粘土单向渗流固结

a=0.5 MPa^{-1}　k=5×10^{-7}cm/s　e_0=1.0

达到固结度U=94%　需要 t=1.6年

这显然不合适



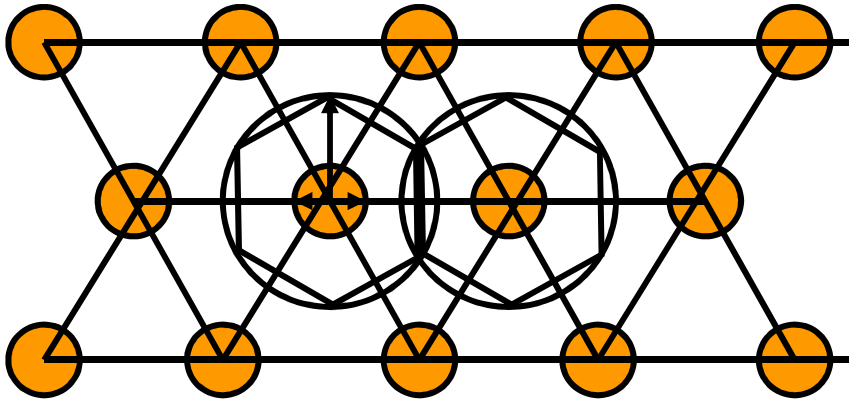
因此需要采用：

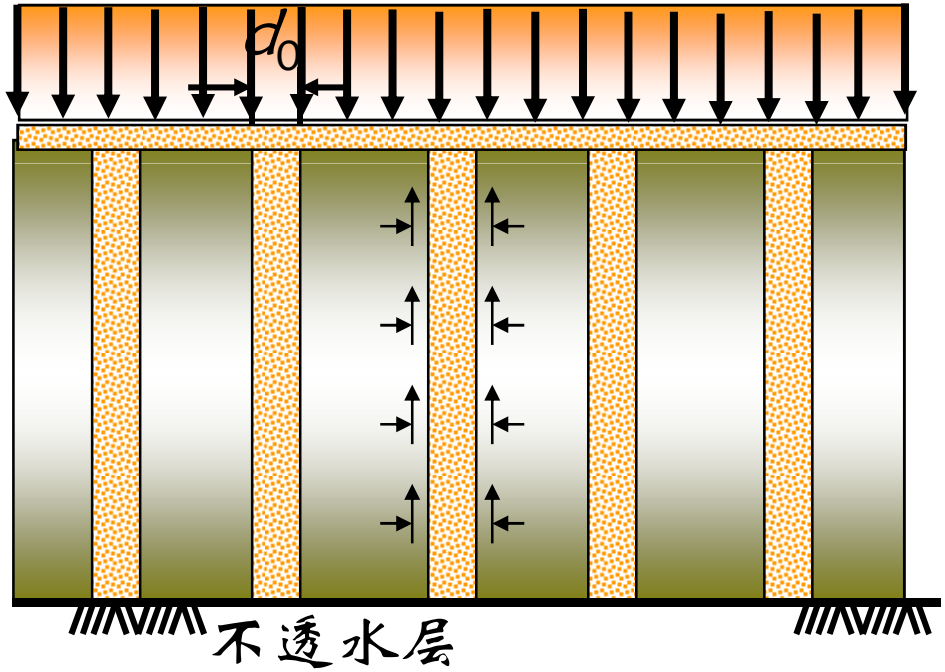
砂井固结：加快固结速度，增加水平向渗流

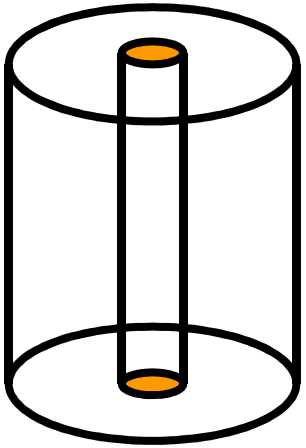
P256 例题5-5

3) 砂井预压固结方法

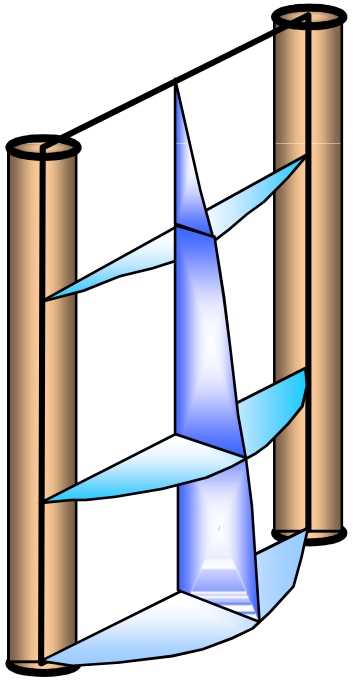
平面布置和影响范围







单个砂井



孔压分布

3) 砂井预压固结方法

塑料排水板替代砂井：等效直径

$$d_p=\alpha\ \frac{2(b+\delta)}{\pi} \qquad \alpha=0.75\sim1.0$$

砂井缺点：

(1) 用砂量大造价高 (2) 颈缩易断

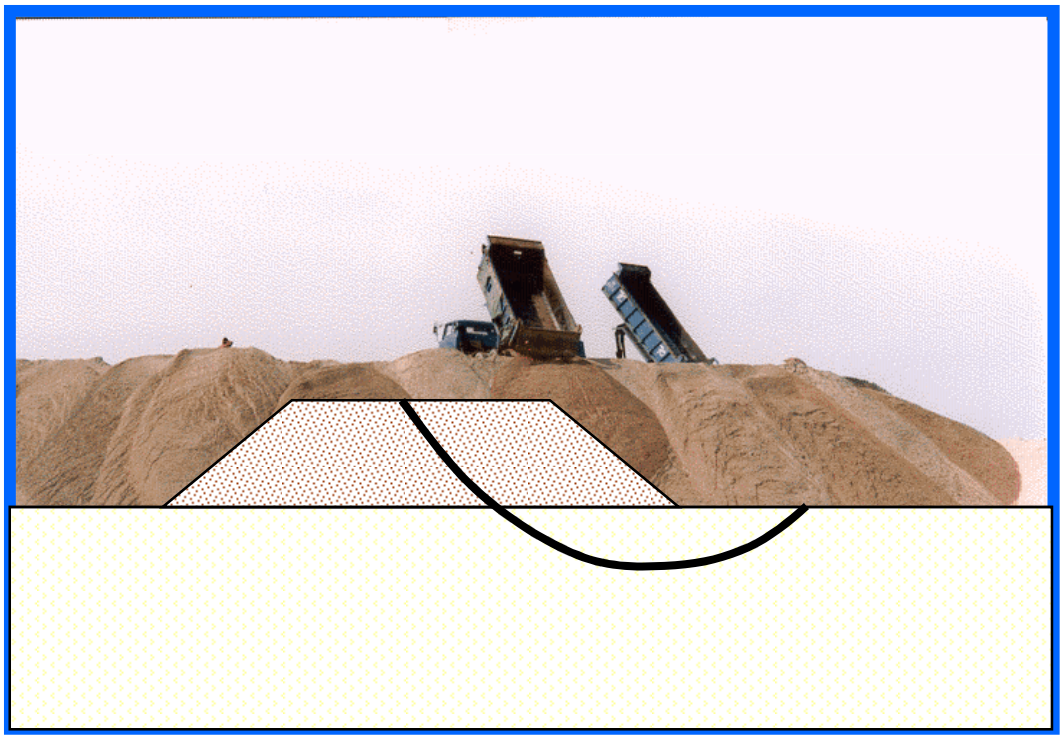
例：

新加坡人工填海

吹砂Depositing sand

插塑料排水板

堆载（Application of Surcharge） 加载过快会失稳



3) 砂井预压固结方法

砂井预压固结度计算微分方程 $$\frac{\partial u}{\partial t}=c'_v\left[\frac{\partial u}{\partial r}\frac{1}{r}+\frac{\partial^2 u}{\partial r^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right]$$

三维渗流固结问题 －轴对称

Carrillo假设成两个方向的渗流固结问题叠加

$$\frac{\partial u}{\partial t}=c_{vz}\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \qquad c_{vz}=\frac{k_z(1+e_0)}{\gamma_w a}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}=c_{vr}\left[\frac{\partial u}{\partial r}\frac{1}{r}+\frac{\partial^2 u}{\partial r^2}\right] \qquad c_{vr}=\frac{k_r(1+e_0)}{\gamma_w a}$$

P258

微分方程按各自边界条件分别求解，积分后得到固结度，假设

$$1-U=(1-U_{zt})(1-U_{rt}) \quad 5\text{-}25$$

$$U_{zt}=1-e^{-\frac{8}{\pi^2}\frac{\pi^2}{4}T_v}$$

$$U_{rt}=1-e^{-\frac{8}{f(n)}T_r}$$

$$T_v=\frac{c_{vz}t}{H^2}$$

$$T_r=\frac{c_{vr}t}{d_e^2}$$

n为井径比$=d_e/d_w$

思考题：对于加速固结，用砂量不变

A 增加井径d_w、增大间距

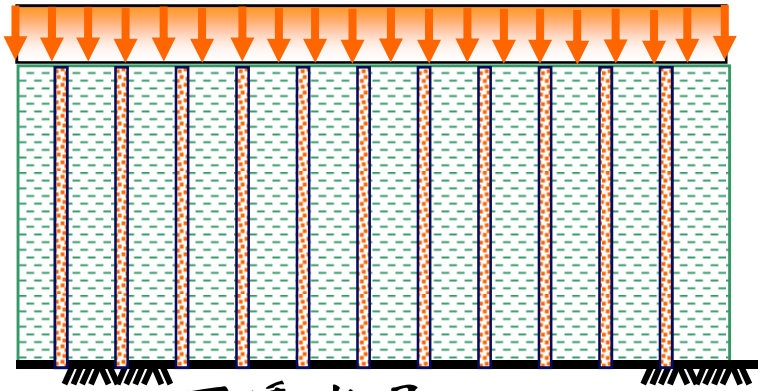
B 减小井径、减少间距d_e 哪个更有效？

例单向渗流固结

$a = 0.5\ \mathrm{MPa}^{-1}$　$k = 5\times10^{-7}\ \mathrm{cm/s}$

$e_0 = 1.0$，　10 m厚

$U = 94\%$　　$t = 1.6$年



上例采用砂井固结　$d_w = 25\mathrm{cm}$, $Sa = 2.5\ \mathrm{m}$,

$U = 94\%$　只需要20天

$$T_v = \frac{c_{vz}t}{H^2}$$

$$T_r = \frac{c_{vr}t}{d_e^2}$$

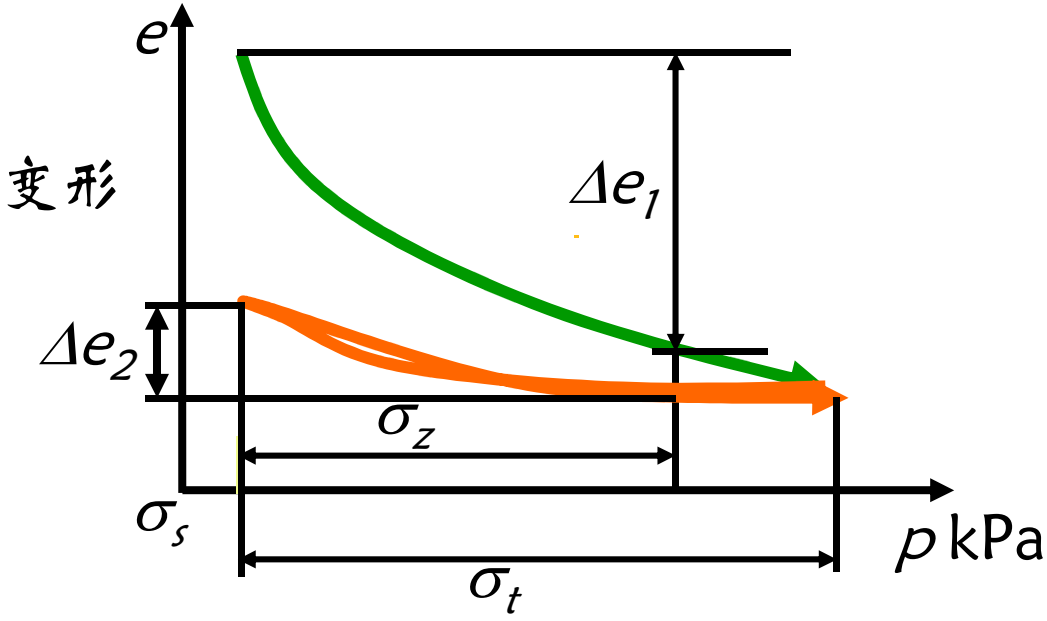
P264 例题5-6 一起看

堆载预压 小结

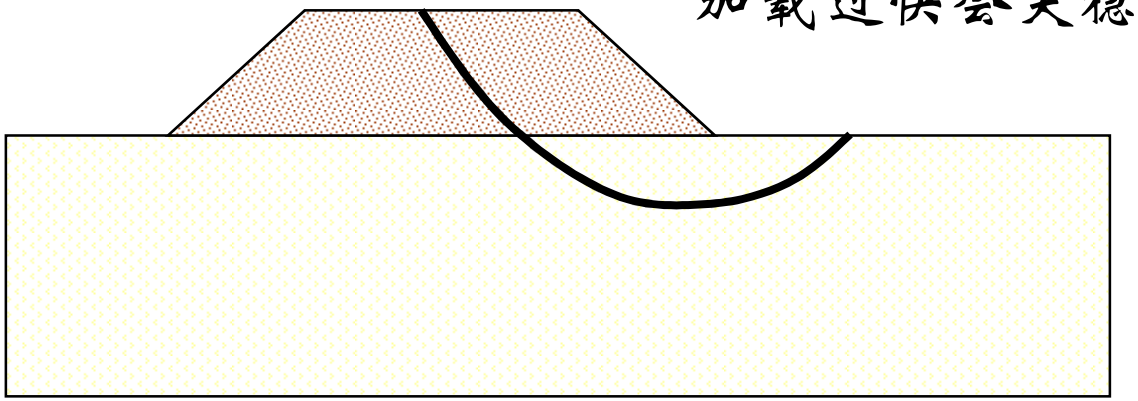
砂井预压固结度计算

$1-U=(1-U_{zt})(1-U_{rt})$

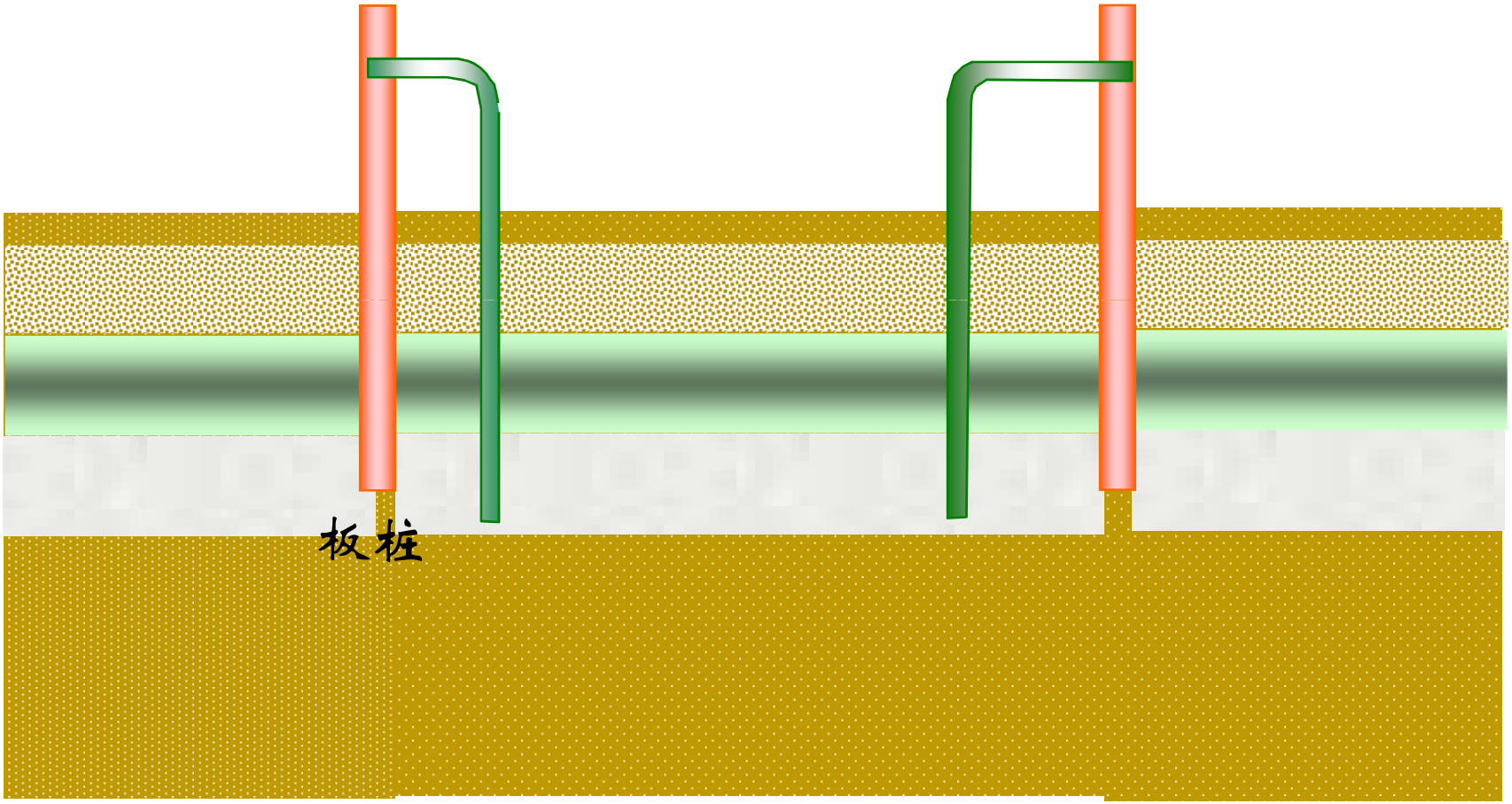
$$T_r=\frac{c_{vr}t}{d_e^2}$$



加载过快会失稳



2 降水预压 例建筑基坑



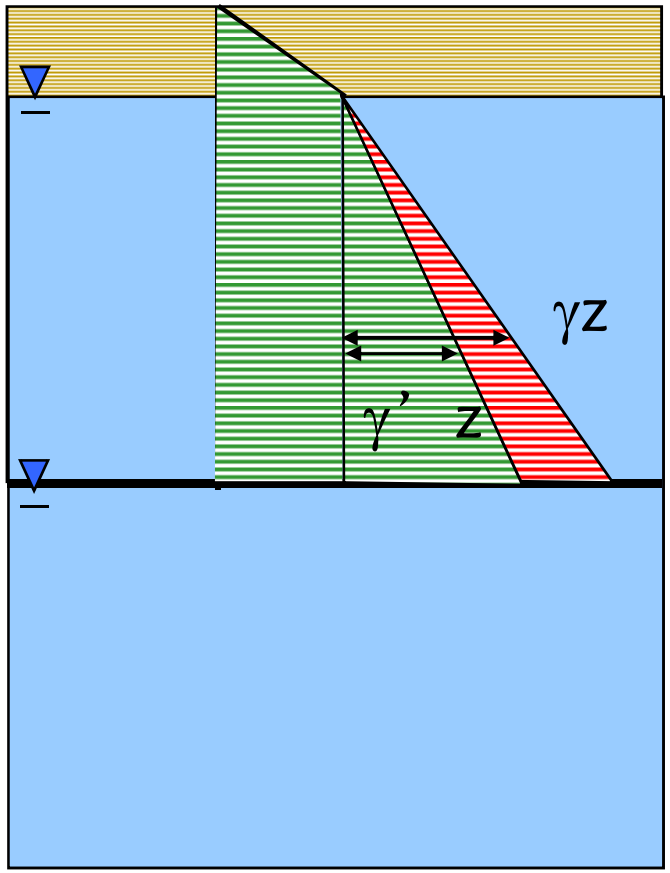
DEL

2 降水预压

井点抽水降低地下水位
提高自重应力，压密地基土

地基土中剪应力没有增加
地下水位降低后自重应力增加

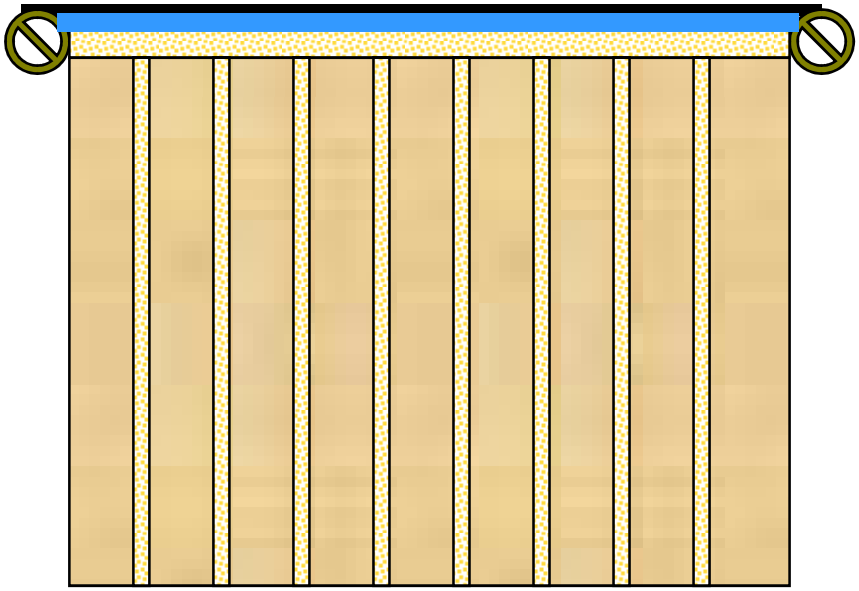
$$\Delta\sigma' = (\gamma_{sat} - \gamma')z$$

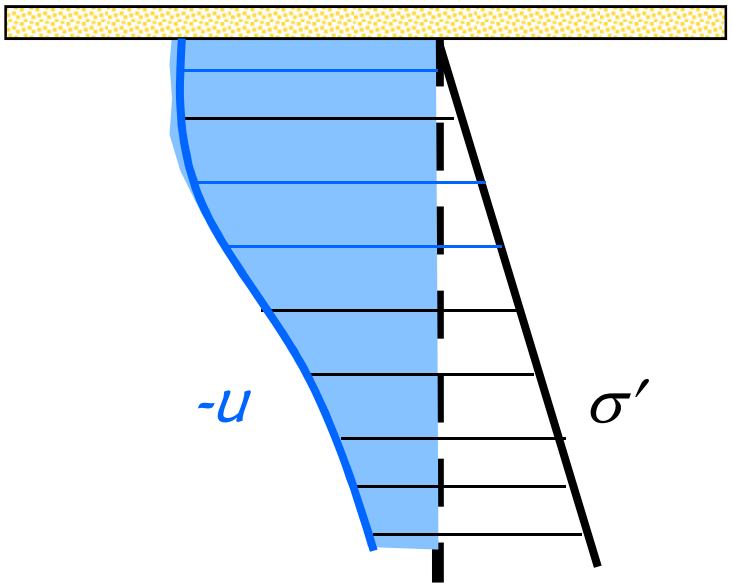


3 真空预压

地基土中剪应力没有增加

不必控制加载速率





P263 DEL

4 讨论

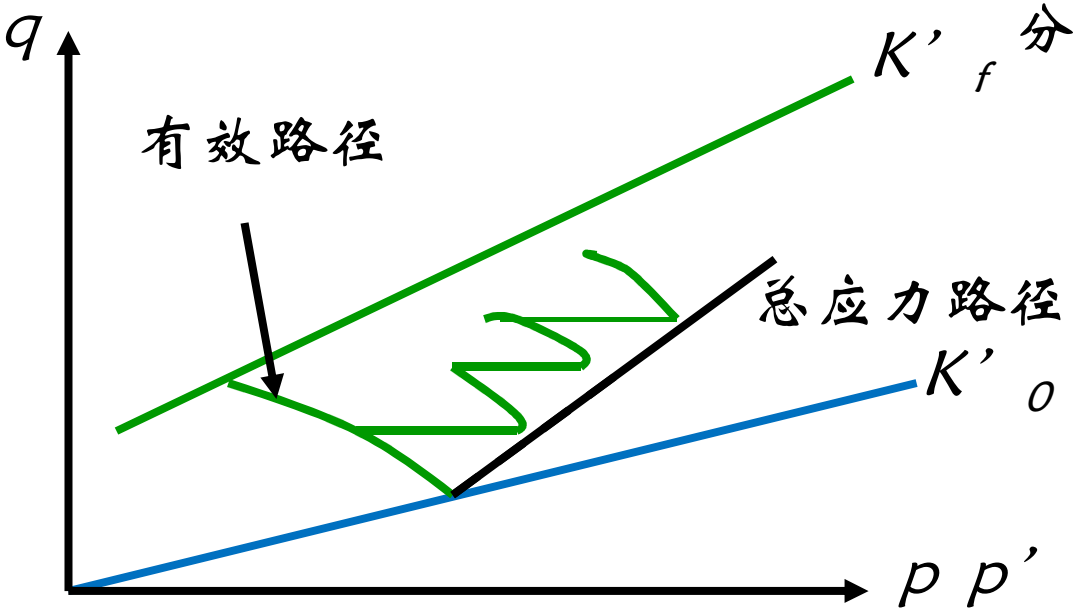
为什么降水预压和真空预压不会引起土体破坏？

堆载预压则可能由于速度太快而造成地基破坏？

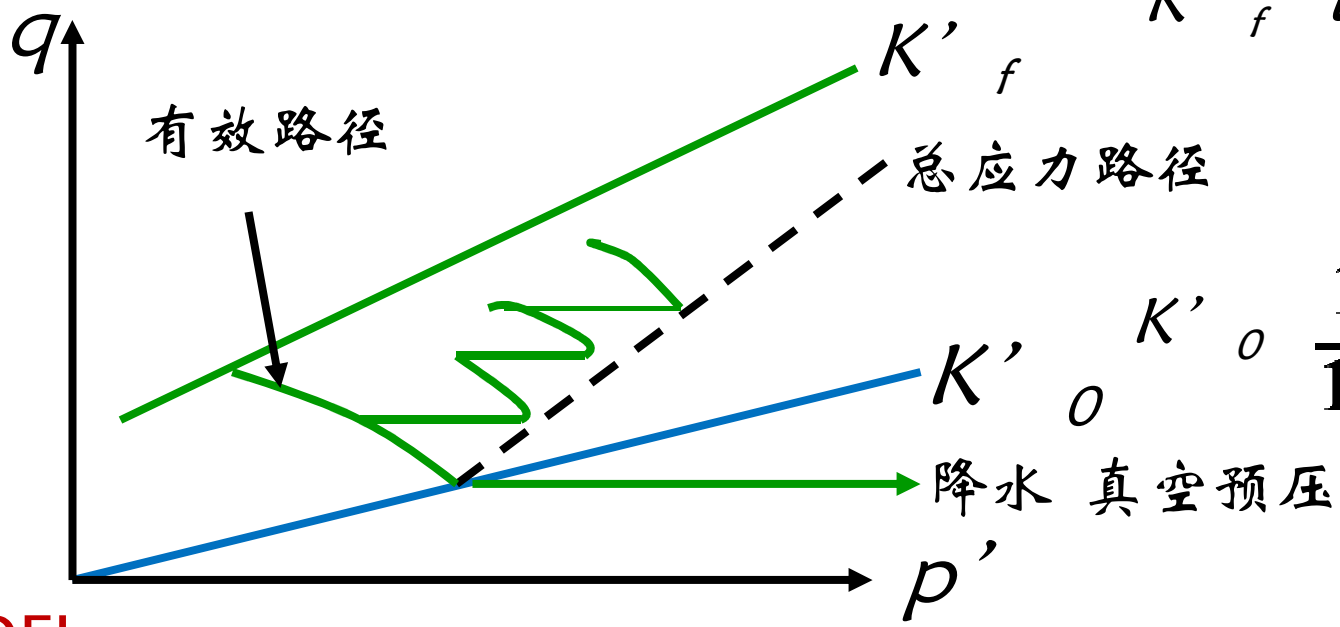
三种预压固结的应力路径

快加载—不排水—破坏

分级慢—排水—密实固结



DEL



$$K'_f \quad \tan\alpha = \sin\varphi$$

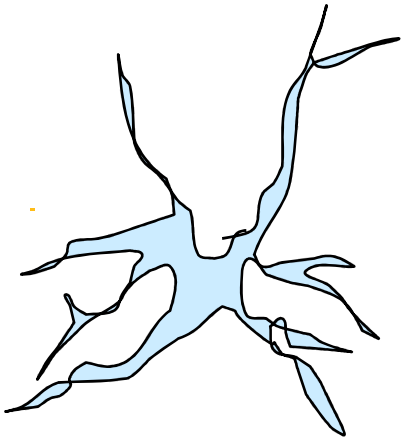
$$K'_o \quad \frac{1-K_0}{1+K_0} = \frac{\sin\varphi}{2-\sin\varphi}$$

DEL

§5.4 胶结法

5.4.1 灌浆法

1 渗透灌浆



粘土灌浆

1） 水泥和粘土浆

- 可灌物—净空比 $R=D_{pore}/d=2\sim3$; pore ---毛孔

  D_{pore}、d 被灌材料孔隙尺寸和灌浆材料粒径

  防止堵塞

- 可灌比 $N=D_{15}/d_{85}\geq10\sim15$,

  85%的灌浆材料充填

- 适用于砾石,粗砂，用以防渗，加密、灌注桩加固

- 按照功能分： 渗透灌浆、劈裂灌浆和压密灌浆

P264

2）化学材料灌浆

（1）聚氨酯

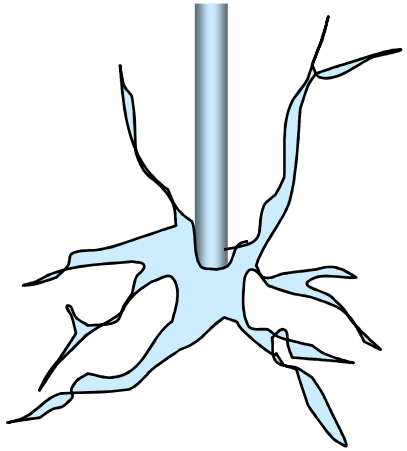
（2）硅酸盐

单液硅化法和碱液法

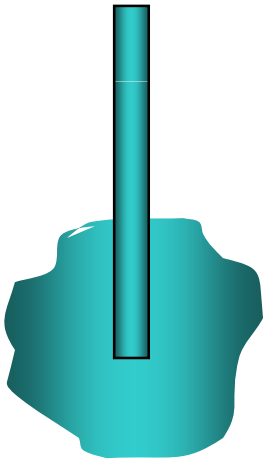
硅酸钠，氢氧化钠＋氯化钙

（3）氢氧化钠

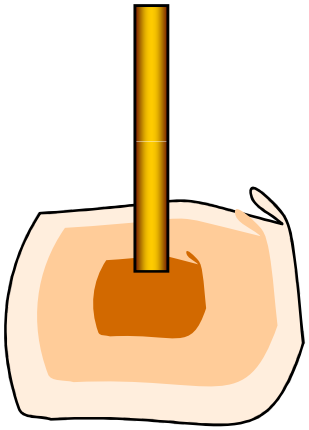
- 真溶液易灌，
- 凝固时间和强度可控，
- 污染，
- 造价高



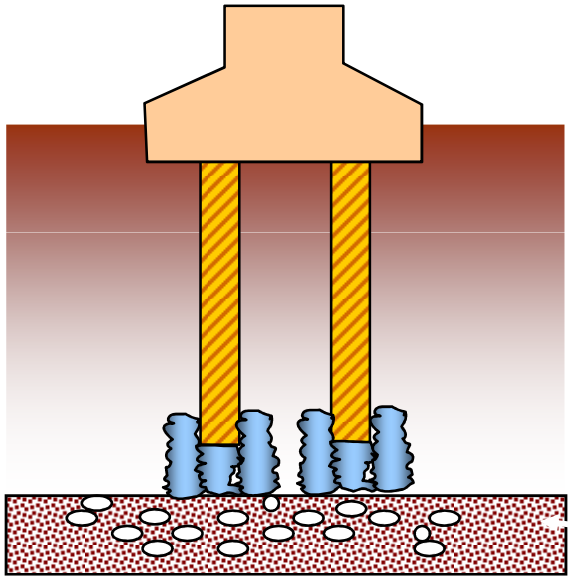
粘土灌浆



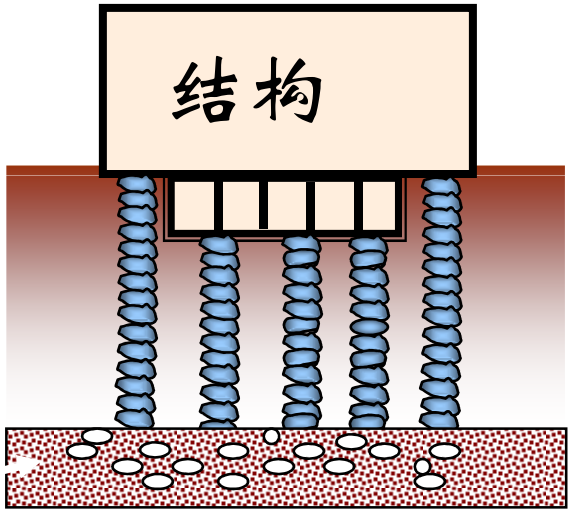
化学灌浆



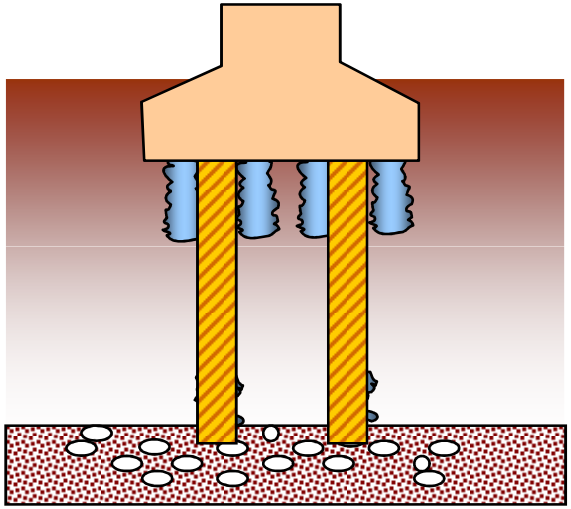
击实灌浆



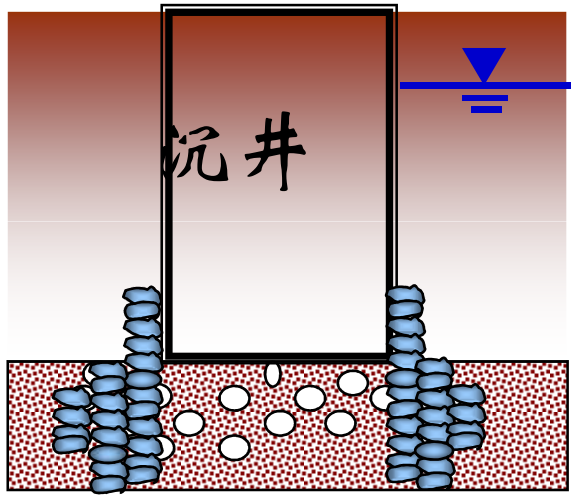
持力层



已有桩或墩的持力层加固　　已有结构地基加固



提高水平抵抗力



抵抗上浮

5.4.1 灌浆法

2 劈裂灌浆

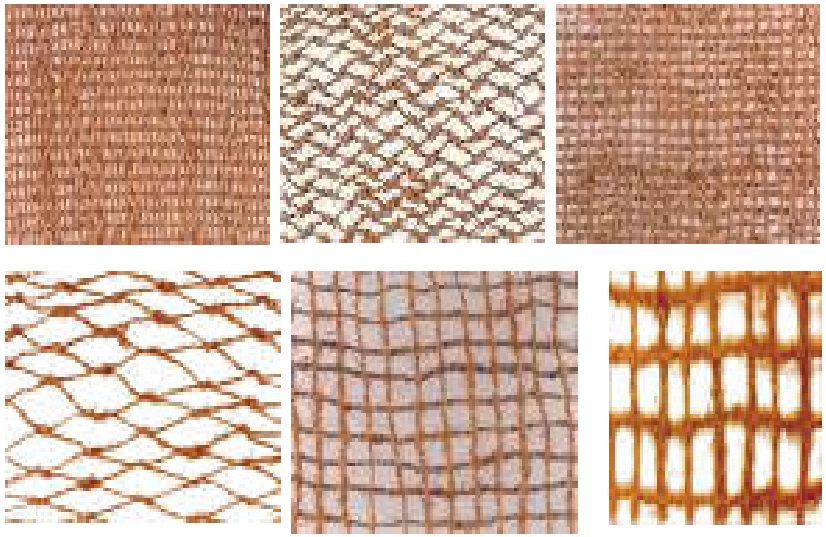
3 压密灌浆

5.4.2 冷热处理法

冻结法和烧结法

P268

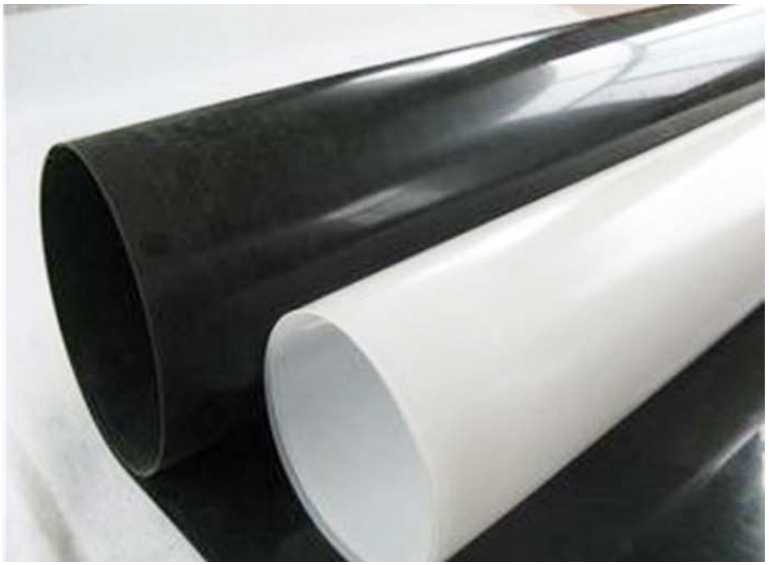
§5.5 加筋法

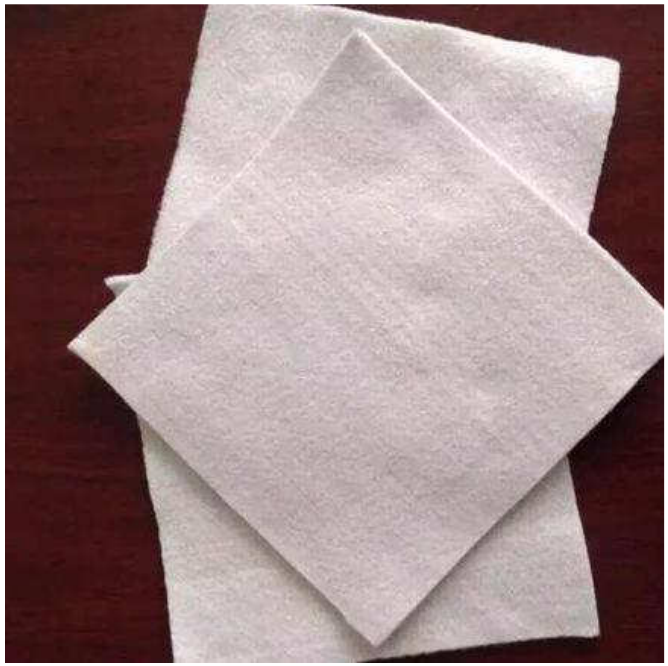


P269

5.5.1 土工合成材料的种类和应用

土工合成材料geosynthetics
是指岩土工程中应用的合成材料产品。它以人工合成的聚合物为原料，制成各种产品，置于土体的内部，表面或各层土之间，发挥加强或保护土体的作用。





分为：

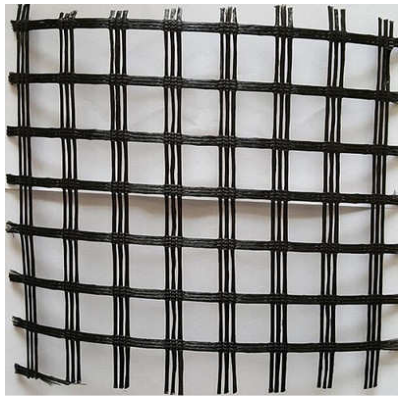
土工膜

土工织物

土工格栅

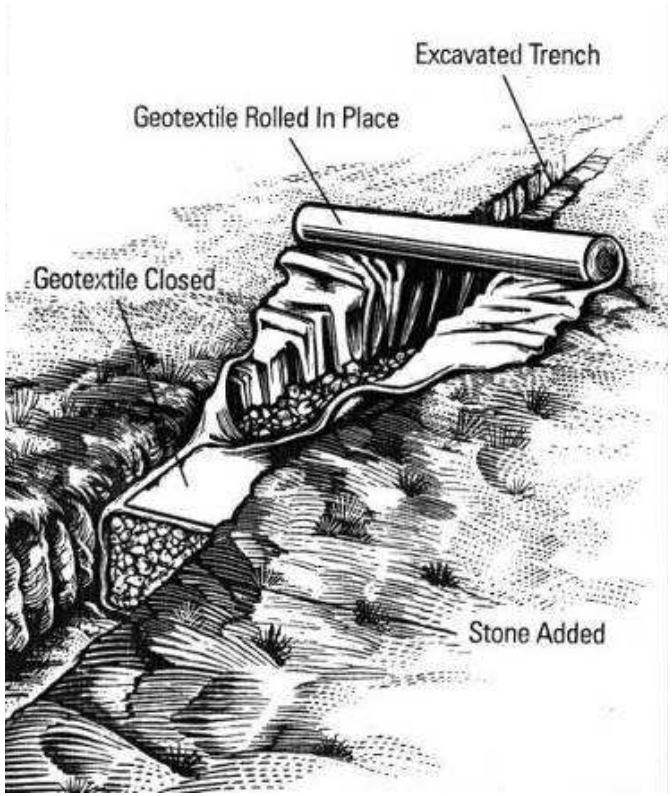
土工复合材料

其它



土工合成材料功能

(1) 排水



（2）反滤护坡：土工布

ERODED SLOPE STABILIZATION

OVERBRIDGE NEAR COCHIN AIRPORT

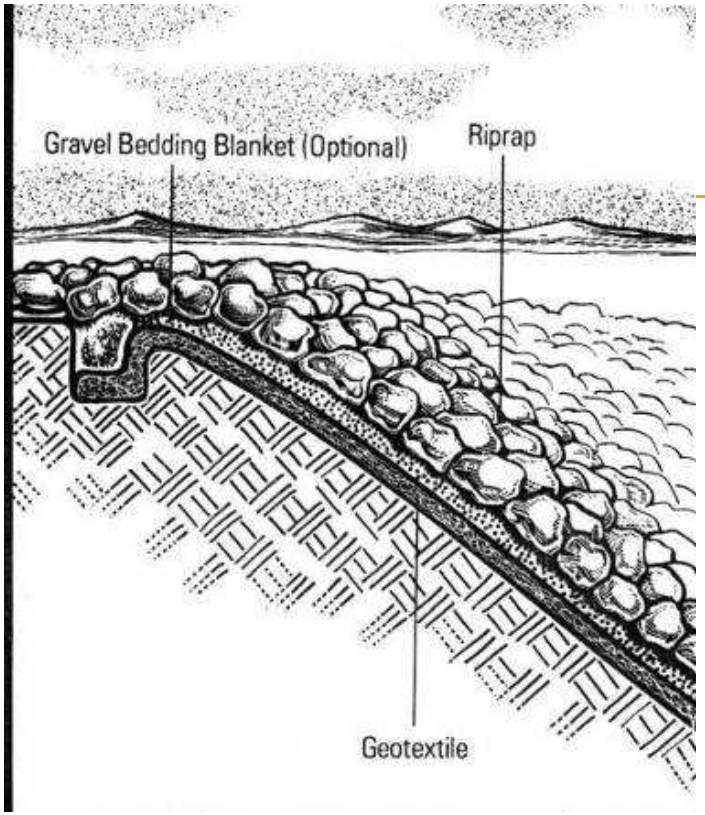
Area after installation

CGT Quality: H2M5

Lush green vegetation after six months

CANAL EMBANKMENT PROTECTION

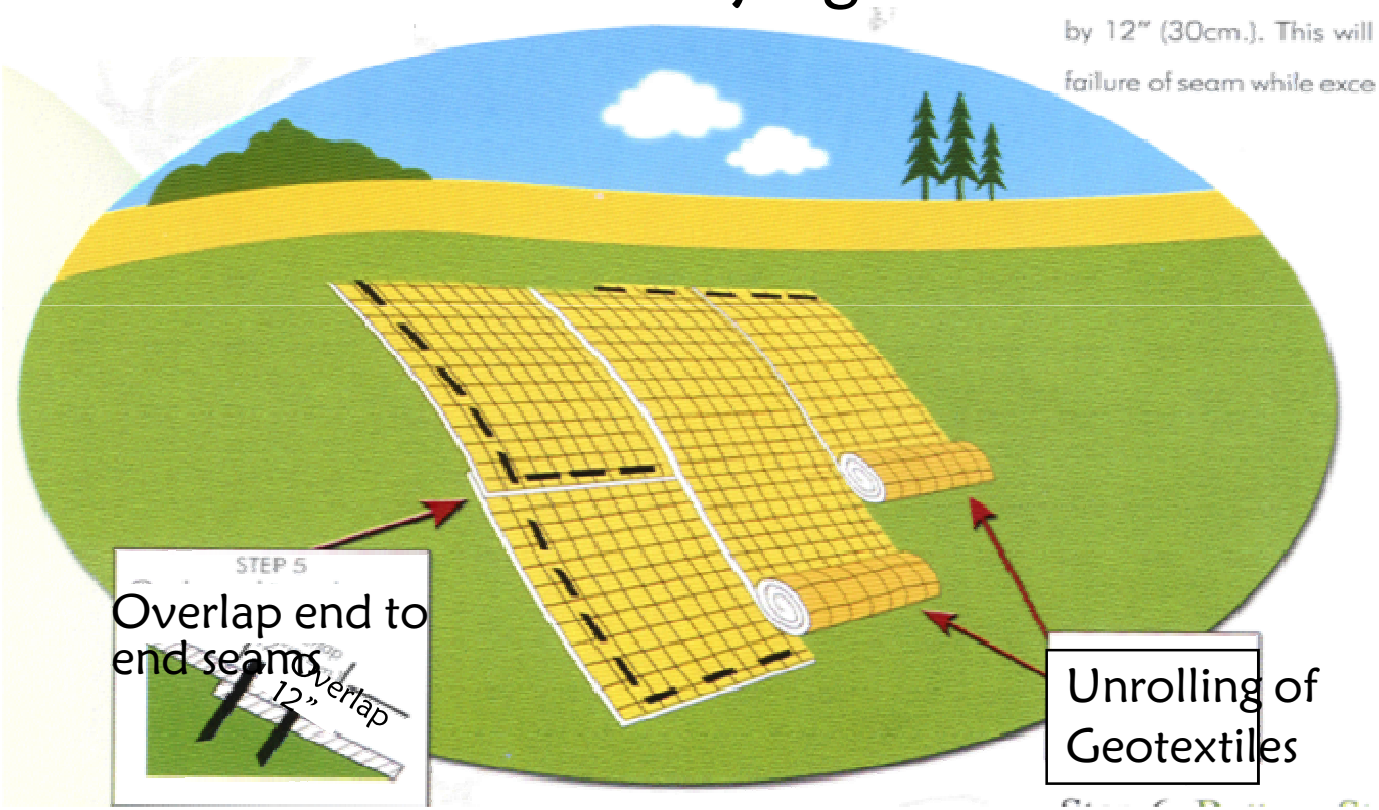
MUVATTUPUZHA VALLEY IRRIGATION PROJECT



The left bank main canal after Geotextile treatment

土工布铺设方法

Method of Laying Geotextiles



（3） 隔离

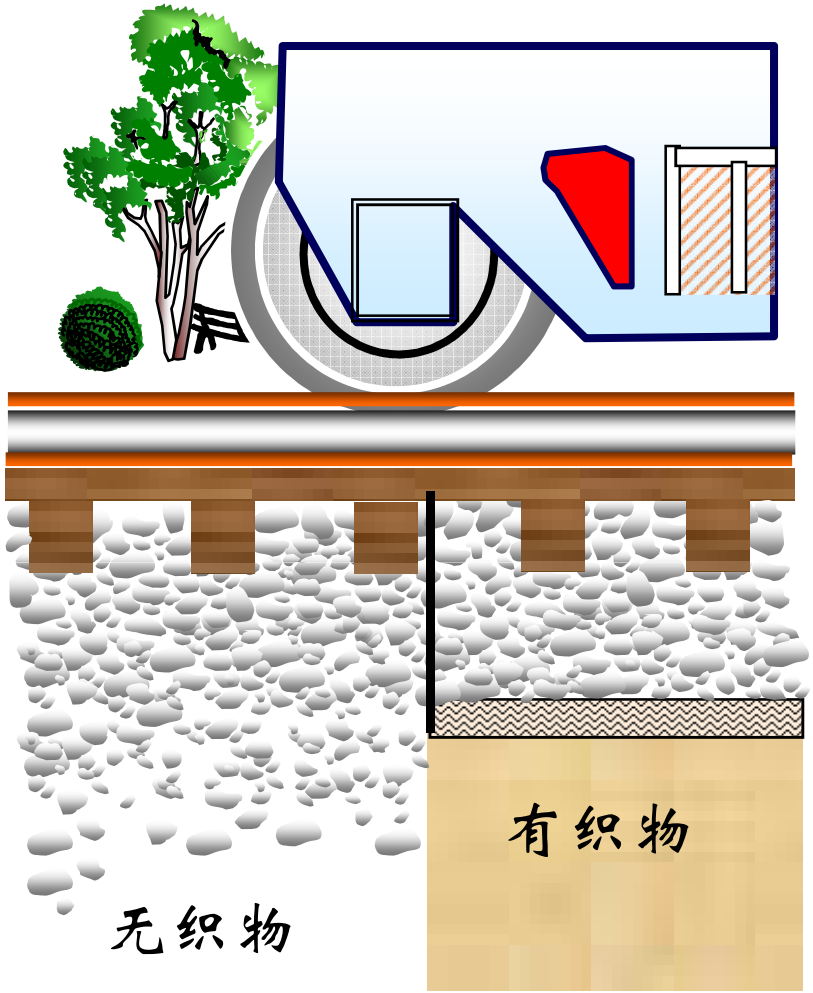
降低维护频率

延长寿命

减少路基损失

减小沉降

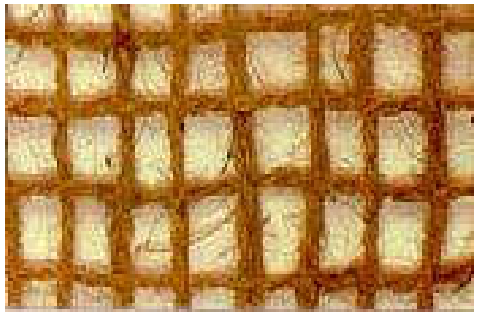
提高承载力

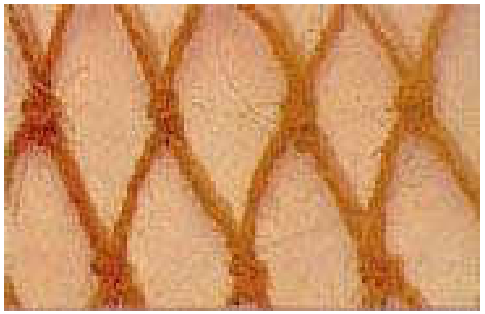


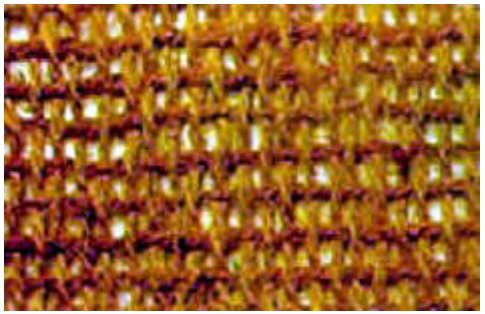
（4） 加筋：格栅，土工布，条带，纤维加筋

无纺针织

Non woven stitched blanket





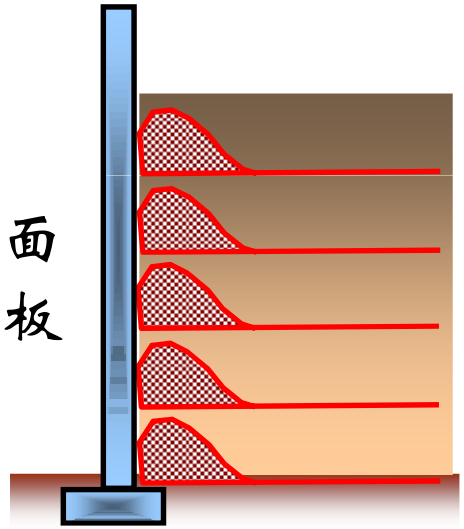


有纺土工织物

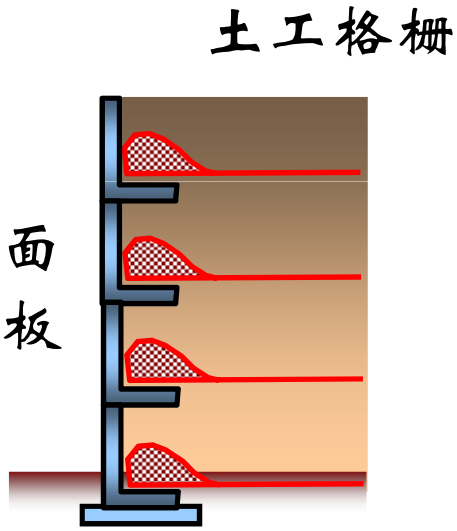
路堤加筋

土工条带加筋

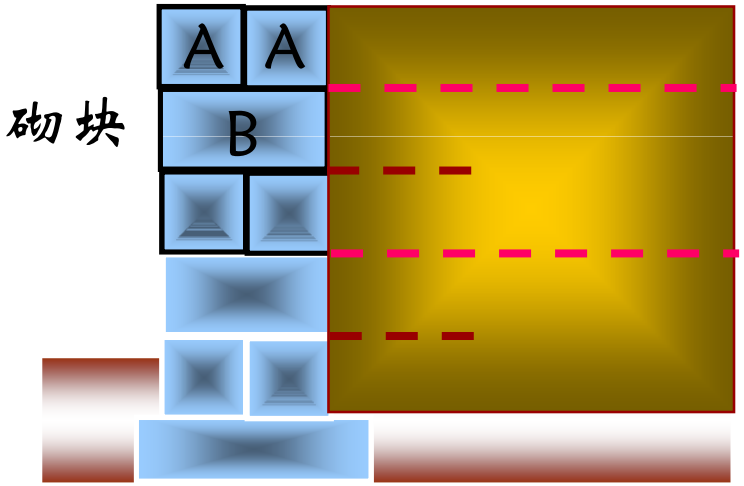
土工格栅加筋挡土墙



装配式面板

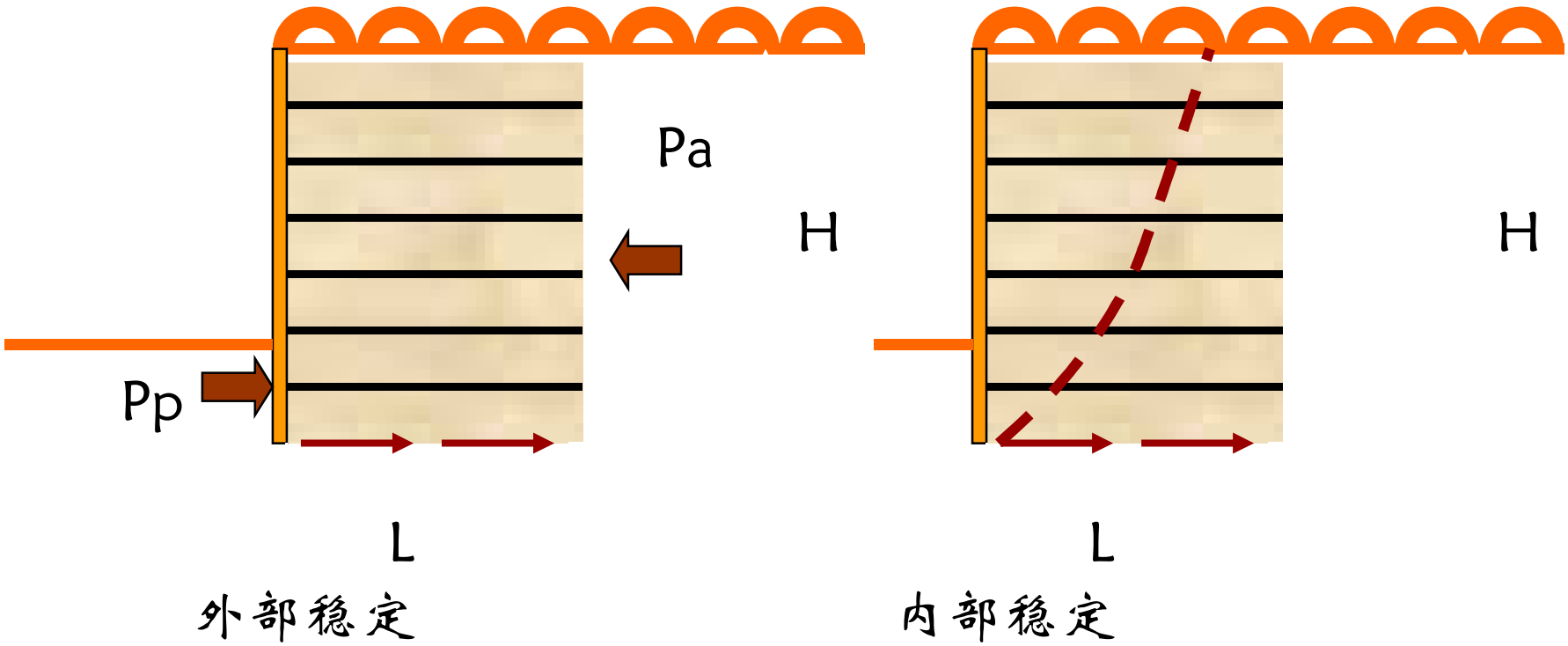


L形预制面板



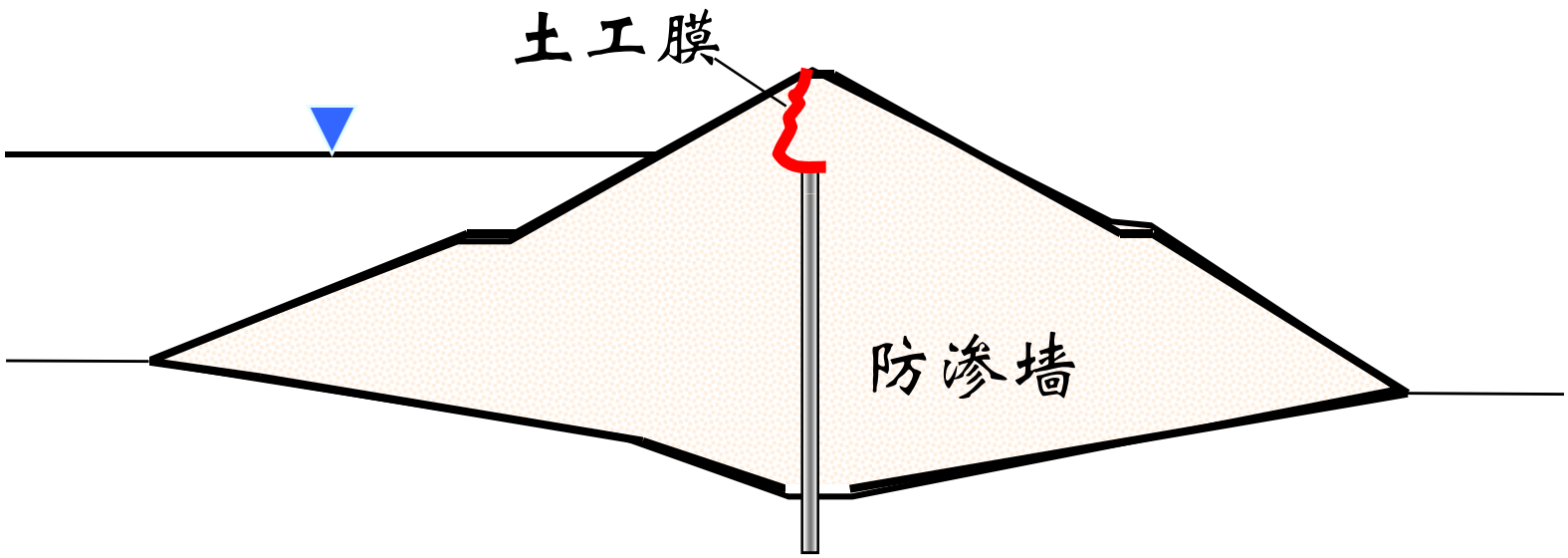
砌块组合式面板

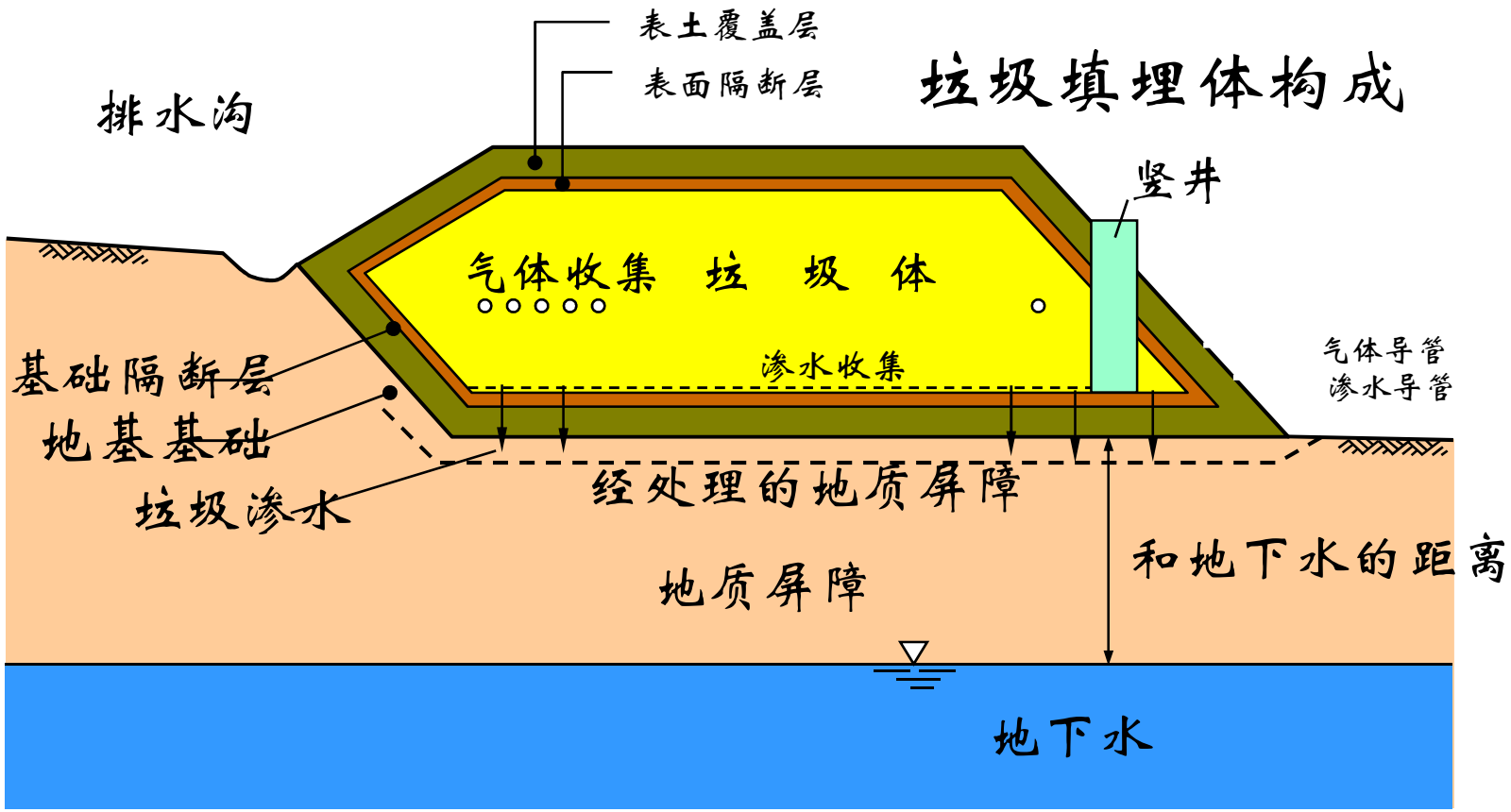
加筋挡土墙稳定分析



（5） 防渗：不透水土工膜

⌘三峡二期围堰的防渗墙上部采用土工膜




表土覆盖层
表面隔断层
垃圾填埋体构成
排水沟
竖井
气体收集
垃 圾 体
渗水收集
气体导管
渗水导管
基础隔断层
地基基础
垃圾渗水
经处理的地质屏障
和地下水的距离
地质屏障
地下水

5.5.2 土工合成材料的反滤作用

防止渗透破坏

防水土流失(护坡)

5.5.3 土工合成材料的加筋作用

格栅,土工布,条带,纤维加筋

加筋挡土墙 加筋土坡 软弱地基加筋

5.5.4 土工聚合物在应用中的几个问题

1 老化 2 蠕变 3 土与土工合成材料间的摩擦力

4 土工织物的渗透性

地基处理方法小节

换土垫层法：垫层0.5-3.0m,下卧层承载力验算.

土桩置换形成复合地基

加密法：碾压，爆破，强夯，深层挤密形成复合

地基，预压固结

胶结法：适用于裂隙岩体，砂土和粘性土

加筋法：防渗、排水、隔离、加筋、反滤

Ref

周景星 李广信 张建红 虞石民 王洪瑾 基础工程 清华大学出版社 第3版

The end

文件名格式：班级 学号 姓名 简略实验名称

邮件标题同文件名

Any questions please 发送至

xingzhengwu@163.com

http://www.xingzhengwu.com/CVInChinese/index.html