8地基承载力

- 8.1 概述
- 8.2 地基的失稳形式与过程
- 8.3 极限承载力计算
- 8.4 容许承载力的确定方法

P306

请安装 SoilMechPPT 08Tsing SWF播放器

建筑物地基设计的基本要求:

稳定要求:荷载小于承载力(抗力)



地基承载力

与土的强度有关

极限平衡条件: 土体的剪切应力达到其抗剪强度时

变形要求: 变形小于设计允许值 S≤[S]



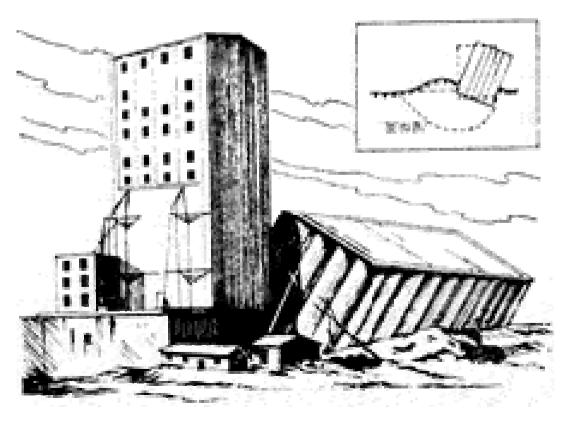
沉降计算(分层总和法)

与土的压缩性有关

附加应力的变形 第4章

加拿大特朗斯康谷仓

概况: 长59.4m, 宽23.5m, 高31.0m, 共65个圆筒仓。 钢混筏板基础, 厚61cm, 埋深3.66m。 1911年动工, 1913年完工, 自重20000T。

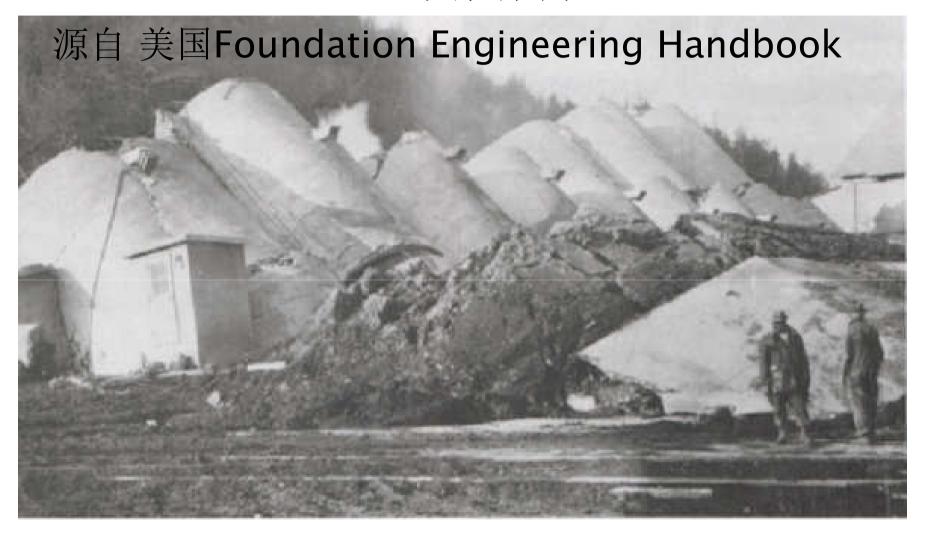


事故:

1913年9月装谷物,10月17日装了31822 T 谷物时,

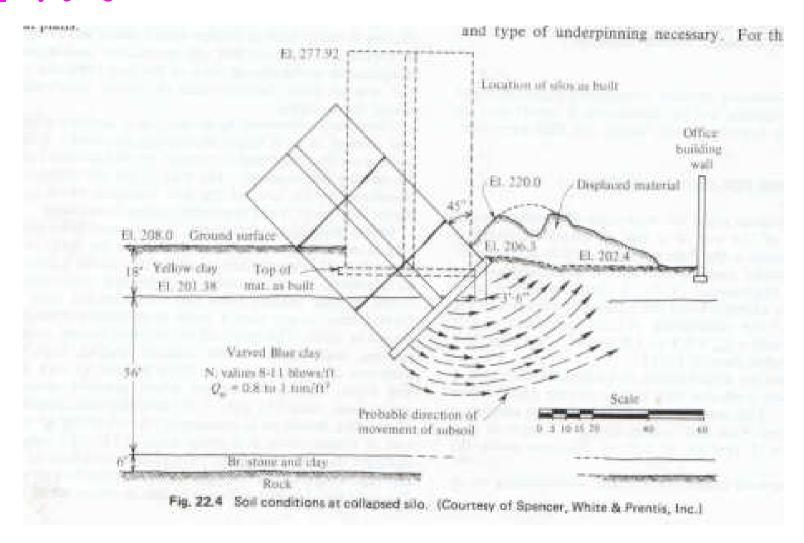
- •1小时竖向沉降达30.5cm
- •24小时倾斜26°53′
- •西端下沉7.32m 东端上抬1.52m
- •上部钢混筒仓完好无损

地基失稳案例



1940年在粘土地基上的水泥仓地基破坏

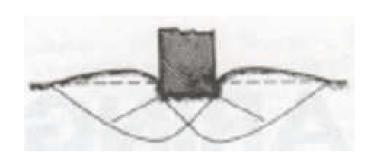
4



水泥仓地基的整体破坏

1整体破坏

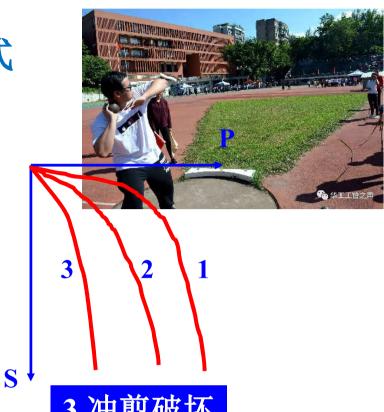
土质坚实,基 础埋深浅;曲 线开始近直线, 随后沉降陡增, 两侧土体隆起。



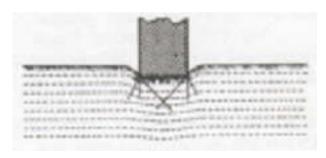
2局部剪切破坏



变形发展速率松软地基,埋深较大; 有无隆起 曲线开始就是非线性, 没有明显的骤降段。

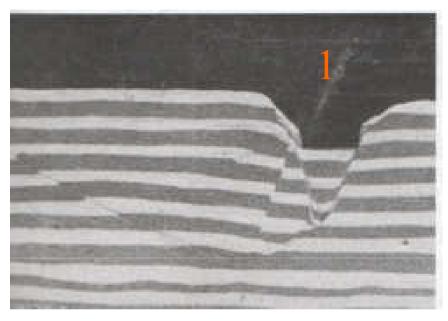


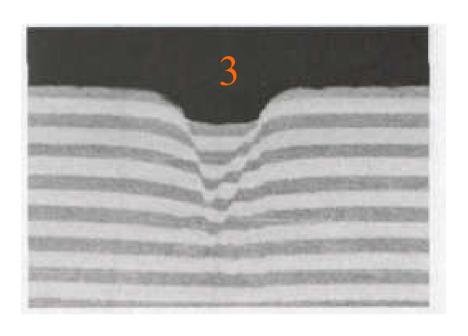
3 冲剪破坏



松软地基,埋深较大; 荷载板几乎是垂直下切, 两侧无土体隆起。

P307



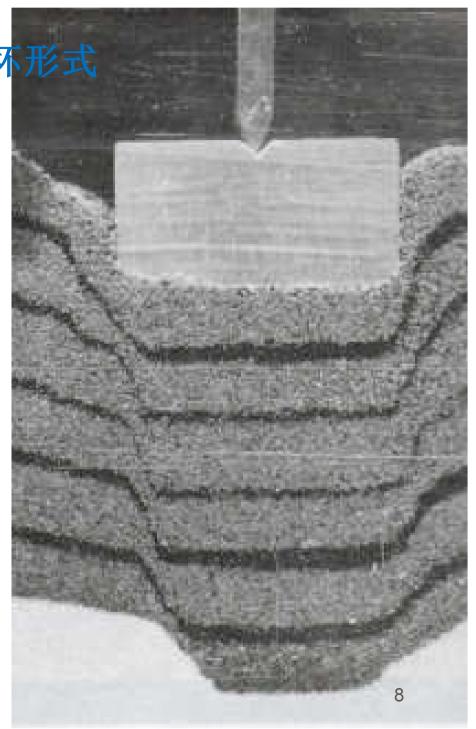




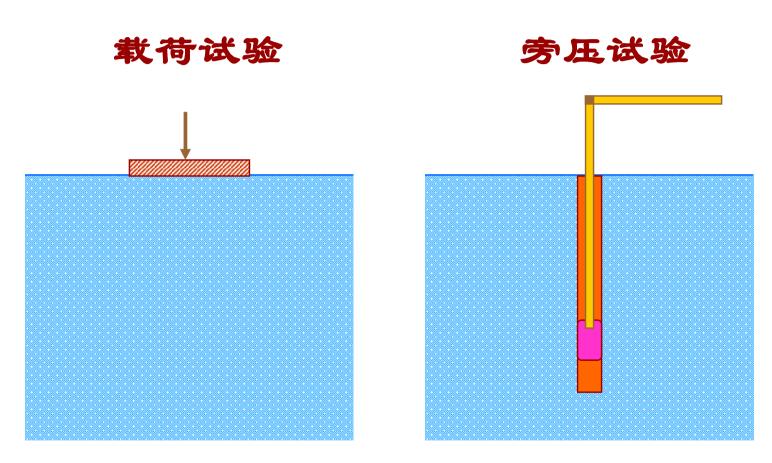
1整体剪切破坏2局部剪切破坏3冲剪破坏

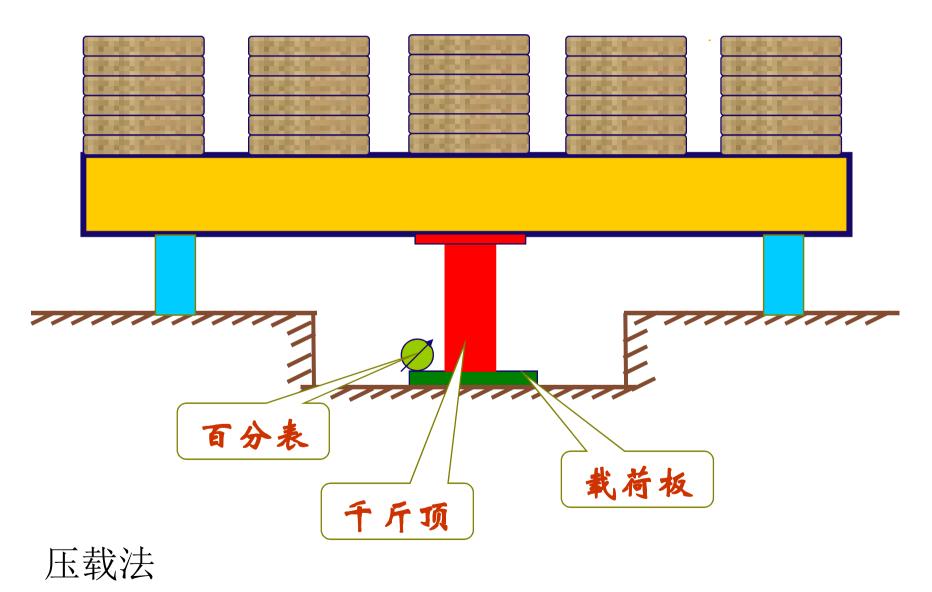
相应出现的土体。

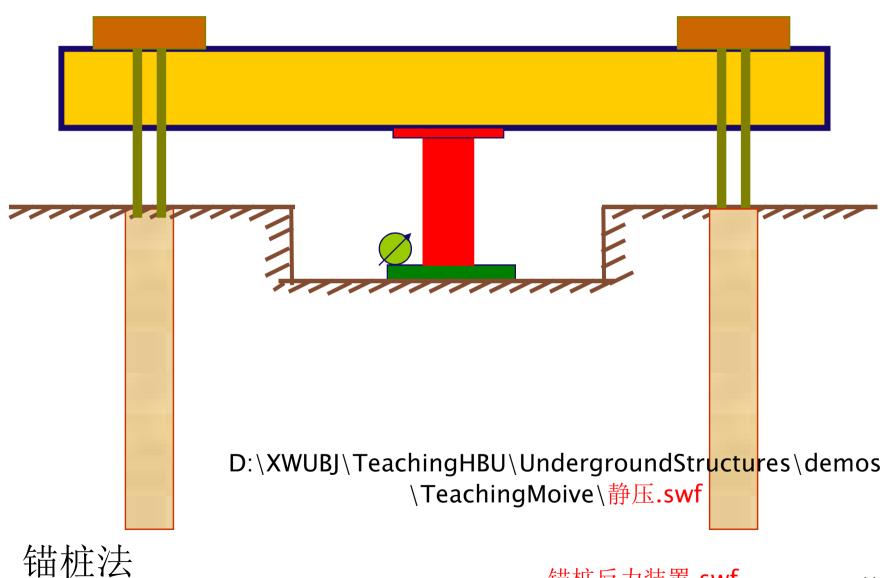
软粘土上的密砂 地基的冲剪破坏



现场试验确定地基承载力

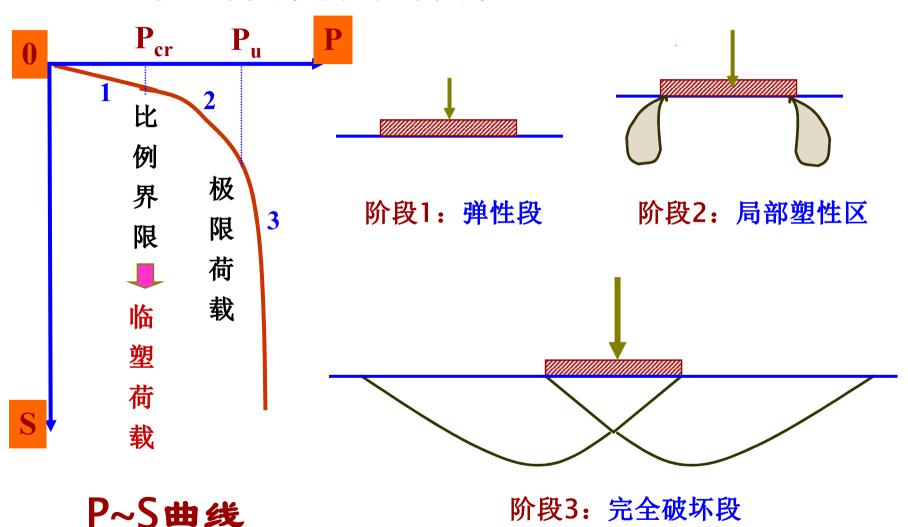






8.2.1 临塑荷载与极限荷载

理想塑性



P308

说明:

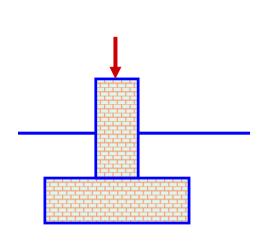
- 1 分级加载,分级不少于8级,每级沉降稳定后再进行下一级加载;
- 2 P_u取值:满足终止加载标准(破坏标准)的某级荷载的上一级荷载作为极限荷载

终止加载标准:

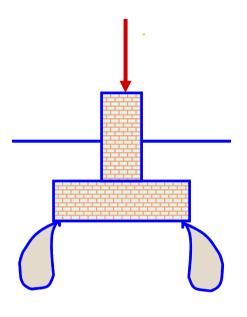
《建筑地基基础设计规范》 (GB50007-2011):

当出现下列情况之一时,可终止加载:

- 1 承压板周围的土明显侧向挤出
- 2 沉降 s 急骤增大,荷载~沉降 (p~s) 曲线出现陡降段
- 3 在某一荷载下,24小时内沉降速率不能达到稳定
- 4 沉降量与承压板宽度或直径之比≥0.06



1. 弹性阶段



2.局部塑性区

临塑荷载:

地基处于弹性阶段与局部塑性阶段界限状态时对应的荷载。此时地基中任一点都未达到塑性状态,但即将达到

8.2 临塑荷载与临界荷载

• 讨论(续)

格界荷載:
$$p = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} + q N_{q} + c N_{c}$$
 外因 B、d 増大 $\rho_{1/4}$ 、 $\rho_{1/3}$ 増大 $\rho_{1/4}$ 、 $\rho_{1/3}$ 投有影响

临塑荷载:

 $p_{cr} = \gamma_0 \ dN_q + cN_c$

B的变化对*pcr* 没有影响

8.3 极限承载力的理论计算

——极限承载力也可称作极限荷载 Pu

主要内容:

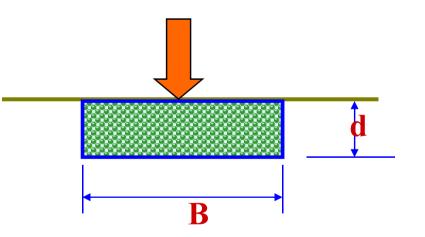
- 8.3.1 普朗德尔-瑞斯纳公式
- 8.3.2 太沙基公式
- 8.3.3 梅耶霍夫 (Meyerhof) 公式
- 8.3.4 汉森公式
- 8.3.4′ 斯凯普顿(Skempton)公式
- 8.3.5 极限承载力的影响因素

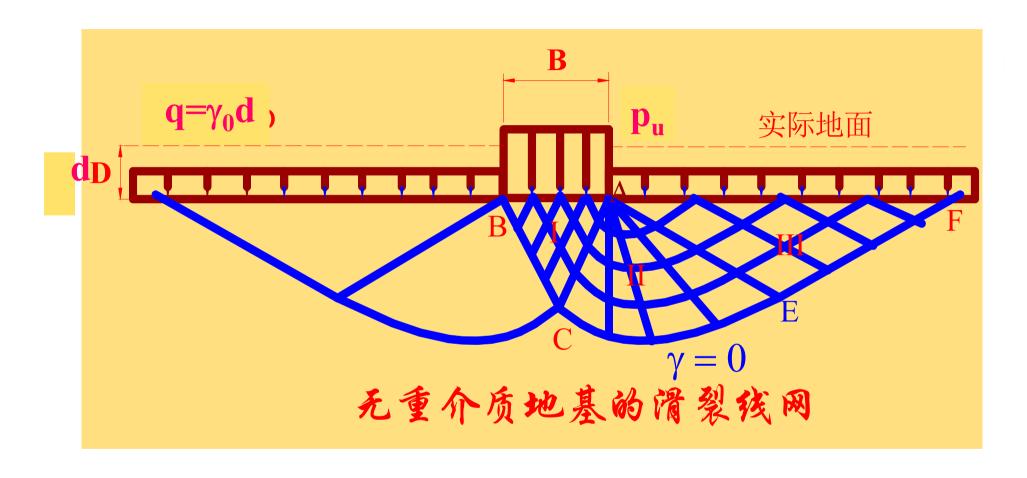
8.3.1 普朗德尔-瑞斯纳公式

概述: 普朗德尔(Prandtl, 1920)利用塑性力学针对无埋深条形基础得到极限承载力的理论解, 雷斯诺(Reissner, 1924)将其推广到有埋深的情况。

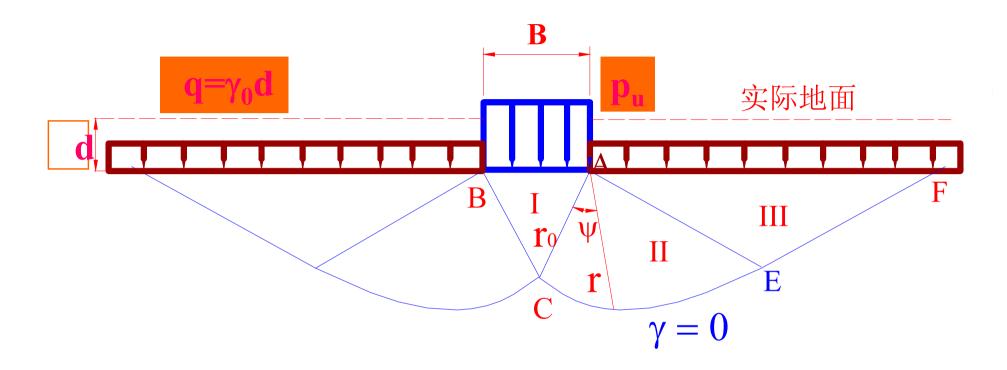
假定:

- 1 基底以下土 $\gamma = 0$
- 2 基底完全光滑
- 3 埋深d<B(底宽)



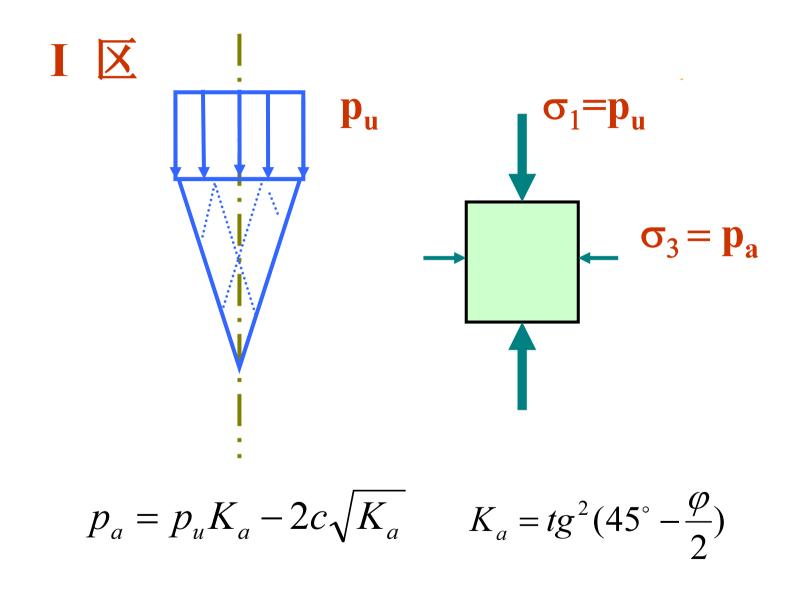


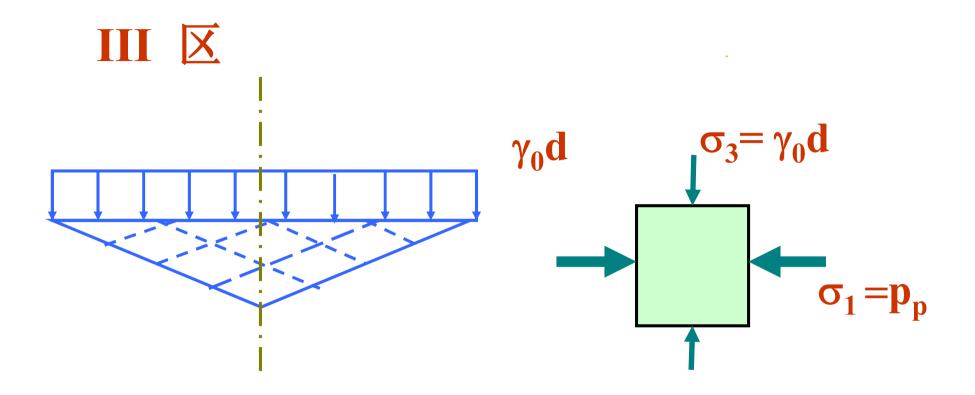
利用塑性力学的滑移线场理论



- 1 朗肯主动区: p_u 为大主应力,AC与水平向夹角45°+ φ /2
- 2 过渡区: r=r₀e^{ψ tgφ}
- 3 朗肯被动区:水平方向为大主应力,EF与水平向夹角45°-φ/2

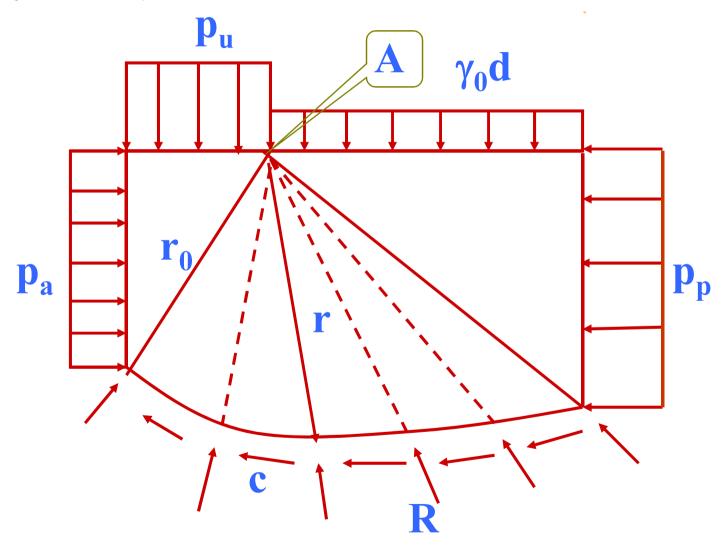
P309 图8-4





$$p_p = \gamma_0 dK_p + 2c\sqrt{K_p}$$
 $K_p = tg^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$

隔离体分析



P310 图8-6 采用力平衡法

普朗德尔-瑞斯纳 (Prandtl-Reissner) 极限承载力:

$$p_u = \gamma_0 d \cdot N_q + c \cdot N_c$$
P310 8-2
8-10

$$N_{\rm q} = e^{\pi t g \varphi} t g^2 (45^{\circ} + \frac{\varphi}{2})$$
 8-3

$$N_{\rm c} = (N_{\rm q} - 1)ctg\varphi$$
 8-4

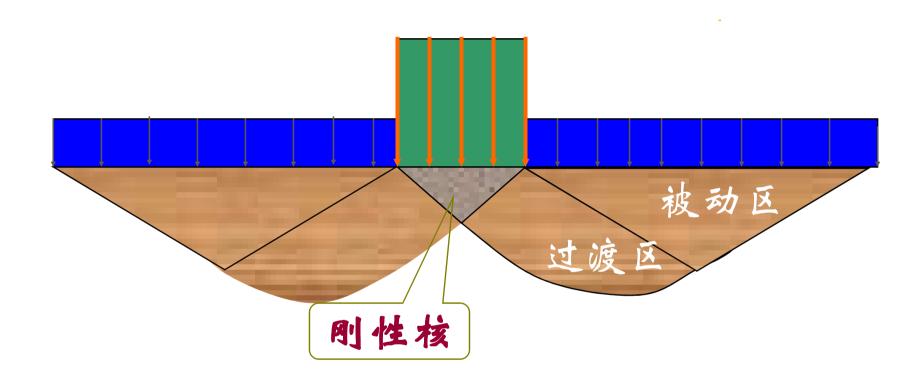
特例: $\varphi = 0$ 时 $p_u = \gamma_0 d + (\pi + 2) c$

讨论见p313 3点

8.3.2 太沙基 (Terzaghi) 公式

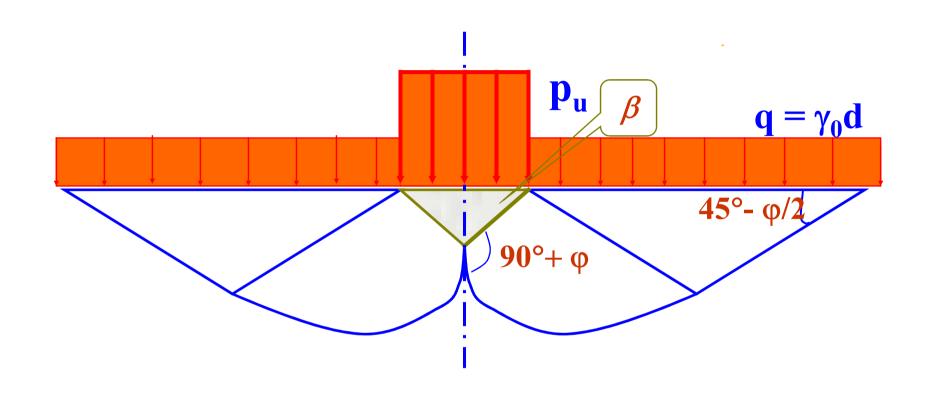
基本条件:

- 1考虑基底以下土的自重
- 2基底完全粗糙
- 3 忽略基底以上土体本身的阻力, 简化为上覆均布荷载 q= γ₀d



太沙基 (Terzaghi) 极限承载力示意

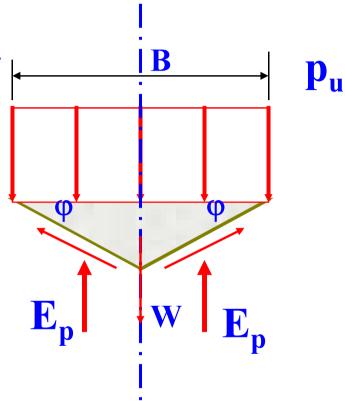
P314



基底完全粗糙: β=φ

刚性核分析:

基底完全粗糙时上

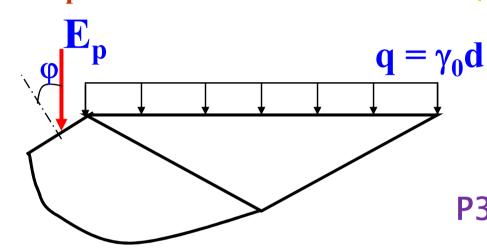


P314

由刚性核的静力平衡条件

$$p_u B = 2E_p + cBtg\varphi - \frac{\gamma B^2}{4}tg\varphi$$
 P314 8-12

被动土压力E_p:



P314 图8-10c

$$\mathbf{E}_{\mathbf{p}} = \mathbf{E}_{\mathbf{p}1} + \mathbf{E}_{\mathbf{p}2} + \mathbf{E}_{\mathbf{p}3}$$

P315 8-13

E_{p1}: 土体自重产生的抗力

 E_{p2} : 滑裂面上粘聚力产生的抗力

 E_{p3} : 侧荷载 $q = \gamma_0 d$ 产生的抗力

Terzaghi极限承载力公式:

 N_{γ} 、 N_{q} 、 N_{c} ——承载力系数,只取决于 φ

也是其他方法的统一表达式。不同在于承载力系数的数值上

已知 φ ,可以查得 N_{γ} 、 N_{q} 、 N_{c} ——承载力系数

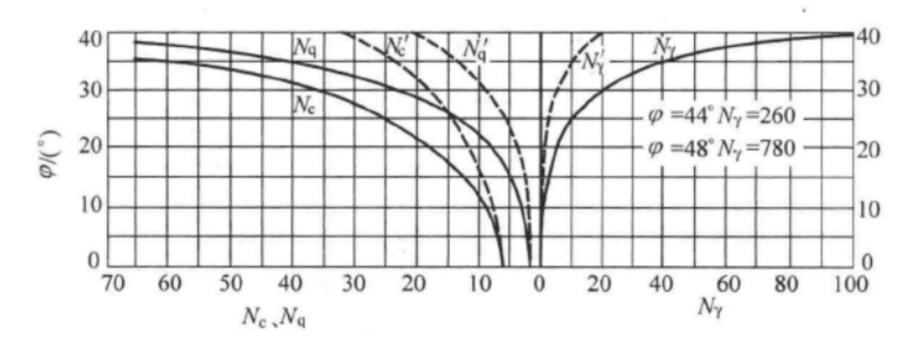


图 8-11 太沙基地基承载力系数 图 8-11

说明:可近似推广到圆形、方形基础,及局部剪切破坏情况

圆形基础:

圆形基础的直径

$$p_u = 0.3\gamma D \cdot N_{\gamma} + q \cdot N_q + 1.2c \cdot N_c$$

方形基础:

$$p_u = 0.4\gamma B \cdot N_{\gamma} + q \cdot N_q + 1.2c \cdot N_c$$

局部剪切:局部剪切时地基变形量较大,承载力降低, 太沙基公式仍适用,但强度参数折减

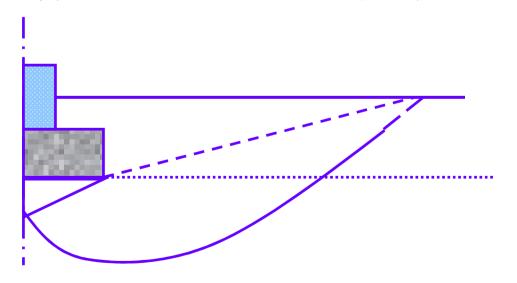
$$tg\overline{\varphi} = \frac{2}{3}tg\varphi \qquad \overline{c} = \frac{2}{3}c$$

8.3.3 梅耶霍夫 (Meyerhof) 公式

考虑基底以上土体抗剪强度时

₩基底粗糙

- 对数螺旋线滑裂面
- 考虑基底以上的土的抗剪强度

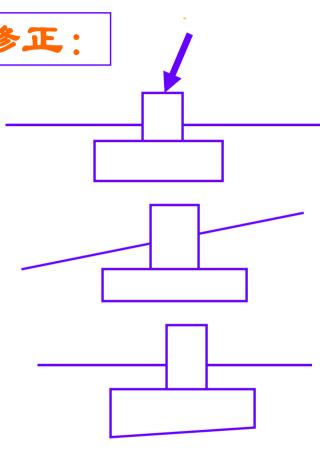


8.3.4 汉森 (Hansen) 公式

在原有极限承载力公式上修正:

- 基础形状修正
- 深度修正
- 荷载倾斜修正
- 地面倾斜修正
- 基底倾斜修正

表8-1 P319



$$p_{u} = \frac{1}{2} \gamma B \cdot N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma} g_{\gamma} b_{\gamma} + q \cdot N_{q} s_{q} d_{q} i_{q} g_{q} b_{q} + c \cdot N_{c} s_{c} d_{c} i_{c} g_{c} b_{c}$$

8.3.4' 斯凯普顿 (Skempton) 公式

对于饱和软粘土地基 $\phi = 0$:

条形基础下:

$$p_u = (\pi + 2)c + \gamma_0 d$$

普朗德尔-瑞斯 纳公式的特例

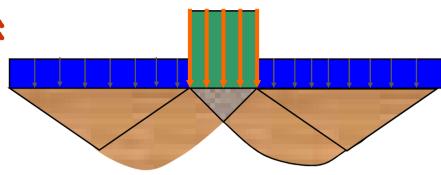
矩形基础下:

$$p_u = 5c(1 + \frac{b}{5l})(1 + \frac{d}{5b}) + \gamma_0 d$$

斯凯普顿公式

8.3.5 地基承载力机理及公式的一般形式

极限承载力Pu的组成:



$$\frac{1}{2} \gamma B \cdot N_{\gamma}$$
 滑动土体自重产生的抗力

 $c \cdot N_c$

滑裂面上的粘聚力产生的抗力

 $q \cdot N_q$ 侧荷载 $\gamma_0 d$ 产生的抗力

DEL

P320

8.3.6 极限承载力的影响因素

一般公式:

$$p_u = \frac{1}{2} \gamma B \cdot N_{\gamma} + q \cdot N_q + c \cdot N_c$$



8.3 极限承载力计算

饱和软粘土地基 φ=0:

条形基础下:

 $p_u = (\pi + 2)c + \gamma_0 d$

特例: B的变化 对 P, 没有影响

通常所说的承载力特征值指容许承载力

8.4.1 承载力特征值的概念

临塑荷载 Pcr

临界荷载 P_{1/4}、P_{1/3}

P324

极限荷载 Pu 太沙基公 (极限承载力) 汉森公式

普朗德尔-瑞斯纳公式 太沙基公式 汉森公式 斯凯普顿公式

问题:如何确定承载力特征值? 后面解答

8.4.2 塑性区发展范围的一般计算方法

先介绍临塑荷载 P_{cr}的理论公式,首先需要确定塑性区发展范围

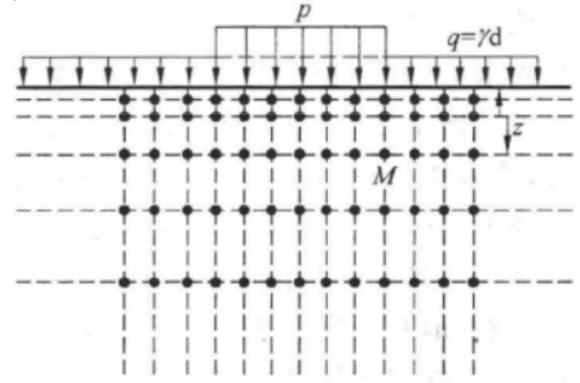


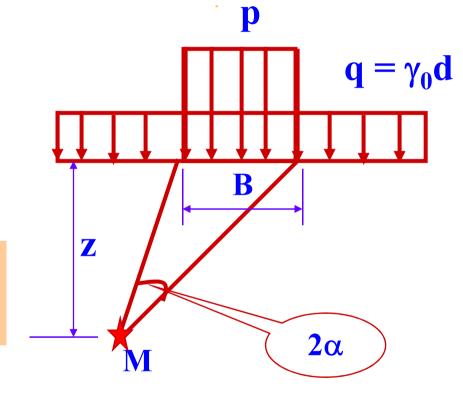
图8-16 计算地基内极限平衡区的网点

• 旬重应力 $\sigma_{s1} = \gamma_0 d + \gamma Z$ $\sigma_{s3} = k_0 (\gamma_0 d + \gamma Z)$

• 附加应力

$$\sigma_{1,3} = \frac{p - \gamma_0 d}{\pi} (2\alpha \pm \sin 2\alpha)$$

• 合力= 设k₀ =1.0

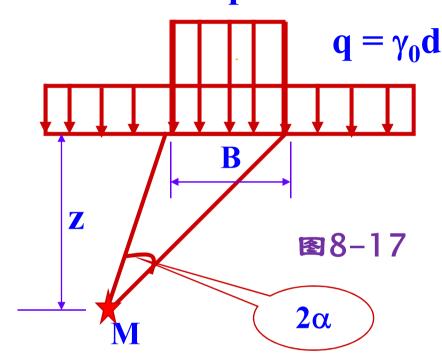


$$\sigma_{1,3} = \frac{p - \gamma_0 d}{\pi} (2\alpha \pm \sin 2\alpha) + \gamma_0 d + \gamma z$$

8-36

• 极限平衡条件:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot ctg\varphi} = \sin\varphi$$



将σ₁, σ₃的解代入极限平衡条件,得到极限平衡区轨迹线的方程式:

$$z = \frac{p - \gamma_0 d}{\gamma \pi} \left(\frac{\sin 2\alpha}{\sin \varphi} - 2\alpha \right) - \frac{c}{\gamma} ctg \varphi - d \frac{\gamma_0}{\gamma}$$

由z与α的单值关系可求出z的极值(求导)

$$z_{\text{max}} = \frac{p - \gamma_0 d}{\gamma \pi} (ctg \ \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}) - \frac{c}{\gamma} ctg \ \varphi - d \frac{\gamma_0}{\gamma}$$

•
$$Z_{max} = 0$$

8-39

$$p_{cr} = \gamma_0 dN_q + cN_c$$

临塑荷载

其中

$$N_{q} = 1 + \frac{\pi}{ctg \ \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}}$$

$$N_{c} = \frac{\pi ctg \ \varphi}{ctg \ \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}}$$

地基土中将要出现塑性区还 未出现塑性区的时刻,此 时对应的基底压力即为临 塑荷载

• $Z_{max} = B/4 \lesssim B/3$:

$$p_{1/4} = \gamma B N_{1/4} + \gamma_0 d$$

$$N_q + cN_c$$

$$p_{1/3} = \gamma B N_{1/3} + \gamma_0 d$$

$$N_q + cN_c$$

其中
$$N_{1/4} = \frac{\pi}{4\left(ctg \ \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}\right)}$$

$$N_{1/3} = \frac{\pi}{3\left(ctg\ \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}\right)}$$

8-41

临界荷载

8-42

各种临界荷载的承载力系数

$$p = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} + q N_{q} + c N_{c}$$

	N _y	N_q	N _c
p _{cr}	0		
p _{1/4}	$(N_q-1)/2$	$1+\pi/(ctg\varphi-\pi/2+\varphi)$	$(N_q$ -1)ctg φ
p _{1/3}	$2(N_q-1)/3$		

特例: φ=0 时

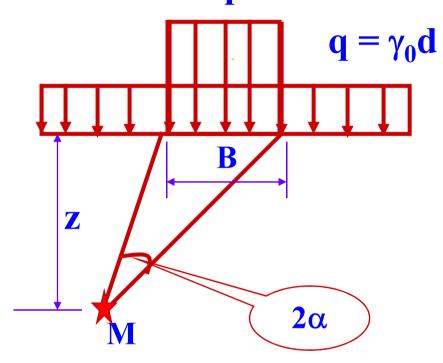
极限平衡条件:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 2c$$

将σ1. σ3的解代入极 限平衡条件,得到:

$$\frac{p - \gamma_0 d}{\pi} \cdot 2\sin 2\alpha = 2c$$

即
$$p < \gamma_0 d + \frac{\pi c}{\sin 2\alpha}$$
 时地基不会出现塑性区



$$p < \gamma_0 d + \frac{\pi c}{\sin 2\alpha}$$

 $2\alpha = \pi / 2$ 时右端为最小

此时其轨迹为以基底为直径 的一个圆弧

· 临塑荷载

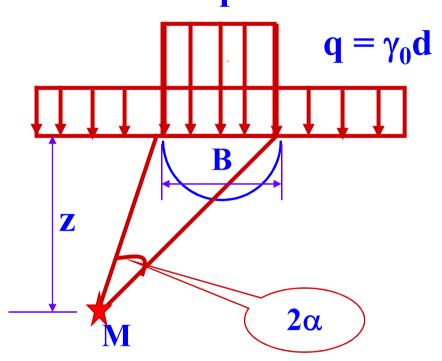
$$p_{cr} = \gamma_0 d + \pi c$$

 φ =0 时特例

· 临界荷载

$$p_{1/4} = p_{1/3} = p_{cr} = \gamma_0 d + \pi c$$

DEL略过



• 讨论

- 1 公式推导中假定 $k_0 = 1.0$ 与实际不符,但使问题得以简化
- 2 计算临界荷载P_{1/4}, P_{1/3}时土中已出现塑性区, 此时仍按弹性理论计算土中应力, 在理论上是矛盾的
- 3 公式来源于条形基础,但用于矩形基础时是偏于安全的

8.4.3 按规范GB50007-2011 确定地基 容许承载力

承载力

极限承载力 容许承载力: <u>承载力特征值</u>(设计值)

- 1通过公式计算
- 2通过载荷试验确定
- 3 通过经验确定

需要经过深度 和宽度修正

掌握公式理论基础,结合实际问题认真分析,恰当应用

• 1 通过极限承载力公式计算

① 要求较高: $f = P_{cr}$

$$f = P_{cr}$$

②一般情况下: $f = P_{1/4}$ 或

$$f = P_{1/4} = \emptyset$$

或者:

③ 用极限荷载计算:

$$f = P_u / K$$

$$K - - - 安全条数$$

太沙基: K≥3.0

在中国

斯凯普顿: K=1.1~1.5

汉森公式: K≥2.0

P327

GB50007-2011)

我国规范中取:

以临界荷载P_{1/4} 为理论基础

 $f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k$

P327 8-44

f_a: 承载力特征值(设计值)

 M_b 、 M_d 、 M_c : 承载力系数,与内摩擦角 φ_k 有关 表 8-2

 φ_k : 基底下一倍短边宽深度内土的内摩擦角标准值

b: 基底宽度,大于6m按6m取值,对于砂土小于3m按3m取值

Ck: 基底下一倍短边宽深度内土的粘聚力标准值

1 《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)

2 《建筑地基基础设计规范》 (GB50007-2011)

- · 2 通过现场载荷试验确定 p328
 - ① 有明显直线段:

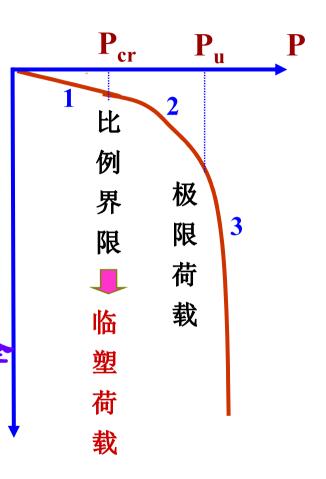
$$f_{ak} = P_{cr}$$

② 加载到破坏且 $P_u/2 < P_{cr}$:

$$f_{ak} = P_u/2$$
 取小值更安全

③ 不能满足上述要求时:

取某一沉降量对应的荷载,但其值 不能大于最大加载量的一半



P~S曲线

现场P-S曲线确定承载力特征值 $f_{ak}=P_u/2$

P328 8-51

进行具体工程设计时, 要作深度和宽度修正:

$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b-3) + \eta_d \gamma_m (d-0.5)$

f_a: 深宽修正后的承载力特征值(设计值)

f_{ak}: 承载力特征值(标准值)

 η_b 、 η_d : 宽度和深度修正系数

 γ : 基底下土的重度,地下水位以下取浮重度

 γ_m : 基底以上土的加权平均重度,地下水位以下取浮重度

b: 基底宽度(m),大于6m按6m取值,小于3m按3m取值

d: 基础埋深(m)

• 3 通过经验确定

GBJ7-89 规范:

推荐查表方法 不再使用

GB50007-2011 规范:

从其他原位测试、经验值等方法确定

注意:

经验方法得到的承载力特征值也要进行深度和宽度修正

本章小结

- 8.1 概述
- 8.2 临塑荷载和临界荷载
- 8.3 极限承载力计算
- 8.4 容许承载力的确定方法

Wu's publications related to the bearing capacity

- Wu X.Z. *Implementing statistical fitting and reliability analysis for geotechnical engineering problems in R*. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. 2017, 11(2):173–188. 土工多元统计分析和概率计算的 R 实施
- Wu X.Z. <u>Trivariate analysis of soil ranking-correlated characteristics and its application to probabilistic stability assessments in geotechnical engineering problems</u>. Soils and Foundations. 2013, 53(4):540-556. [SCIE:0.41]. 土体多变量参数的相关性及其在岩土工程中概率稳定评估中的应用.
- Wu X.Z. *Modelling dependence structures of soil shear strength data with bivariate copulas and applications to geotechnical reliability analysis*. Soils and Foundations. 2015, 55(5):1243–1258. 采用关联函数模拟土体抗剪强度参数的互相关性及其应用.
- Wu X.Z. <u>Assessing the correlated performance functions of an engineering system via probabilistic analysis</u>. Structural Safety. 2015, 52(PA): 10–19. [SCI:2.39]工程体系的功能函数相关性的概率分析.
- **吴兴征**, 王瑞凯, 辛军霞, 冯震. 特定场地下土工构筑物荷载变形曲线的概率密度分布. 工程质量. 2017, 35(9):41-46. [link] [pdf]
- 辛军霞, **吴兴征***, 高伟, 任国家, 马骏翔, 范磊. 基于Copula函数的CFG桩复合地基载荷-变形曲线的概率分析. 岩土力学. 2016. 37(S1):424-434. [EI] [pdf] 该文获得<u>首届全国建筑业优</u>秀论文评选二等奖

Wu's publications related to the bearing capacity (2)

Wu X.Z. Xin J.X. *Probabilistic analysis of site-specific load-displacement behaviour of cement-fly ash-gravel piles*. Soils and Foundations. 2019, 59(5):1613-1630. 特定场地下水泥-粉煤灰-碎石(CFG)桩载荷-位移特性的概率分析.

Wu X.Z. Xin J.X. <u>Geometric reliability analysis of composite foundations</u> <u>comprising cement-fly ash-gravel piles at site-specific scale</u>. Journal of Testing and Evaluation. 2021, 49(4):1–21. 特定场地下水泥-粉煤灰-碎石(CFG)桩复合地基的几何可靠性分析.

吴兴征, 王瑞凯, 辛军霞. 基于少量检测数据的特定建筑物下基桩简化几何可靠性评估. 岩土力学. 2020, 41(S2):1-9. [link]

吴兴征, 王瑞凯, 辛军霞. 特定场地下土工构筑物的几何可靠性分析. 岩土力学. 2020, 41(6):2070-2080. [link]

Ref: 李广信 张丙印 于玉贞 土力学 第三版 清华大学出版社 2022.08

o v s

文件名格式: 班级 学号 姓名 简略名称 邮件标题同文件名 Any questions please 发送至 xingzhengwu@163.com

用原位测试成果确定地基承载力

主要原位测试试验

浅层平板载荷试验

- (1) 试验装置
- (2) 试验要点
- (3) 试验成果的整理与确定地基承载 力的特征值 fak

先看书然后看动画

D:\XWUBJ\TeachingHBU\UndergroundStructures\demos\TeachingMoive\荷载板试验.swf

概述

承载力的概念:

地基承受荷载的能力。数值上用地基单位面积上所能承受的荷载来表示。

极限承载力

地基承受荷载的极限能力。数值上等于地基所 能承受的最大荷载。ultimate limit state design

容许承载力≈承载力设计值(特征值)

保留足够安全储备,且满足一定变形要求的承载力。也即能够保证建筑物正常使用所要求的地基承载力。 serviceability limit state design