

第一章 侧压力

1.1 土压力

Definition 1.1.1. 根据挡土墙的位移情况和墙后土体所处的平衡状态，将土压力分为：静止土压力、主动土压力和被动土压力

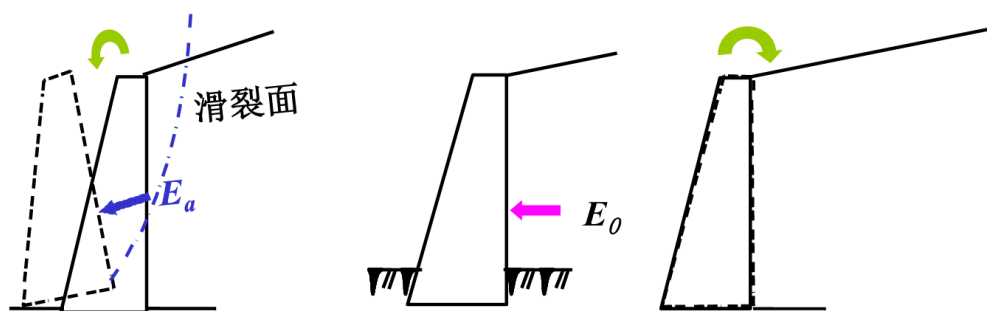


图 1.1: 土压力分类

1. 挡土墙没有任何变形和位移，墙后土体处于弹性平衡状态，该状态下作用在挡土墙上的土压力就称为静止土压力，比如地下室，记为 E_0
2. 挡土墙向背离土体的方向发生位移，此时土压力会不断减小，当土体达到极限状态时，该状态下作用在挡土墙上的土压力就称为主动土压力,比如说基坑，记为 E_a
3. 挡土墙朝向土体方向发生位移，此时土压力会不断增大，当土体达到极限状态时，该状态下作用在挡土墙上的土压力就称为被动土压力，比如说拱桥，记为 E_p

这里部分的推导有点简略了，我在考试前又写了一遍，可以看笔记最后一章计算题与易错题部分。

Remark. $E_p > E_0 > E_a$

Definition 1.1.2. 由朗肯土压力理论，土体中某点处于极限平衡状态，可导出大、小主应力之间的关系式：

粘性土

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

无粘性土

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

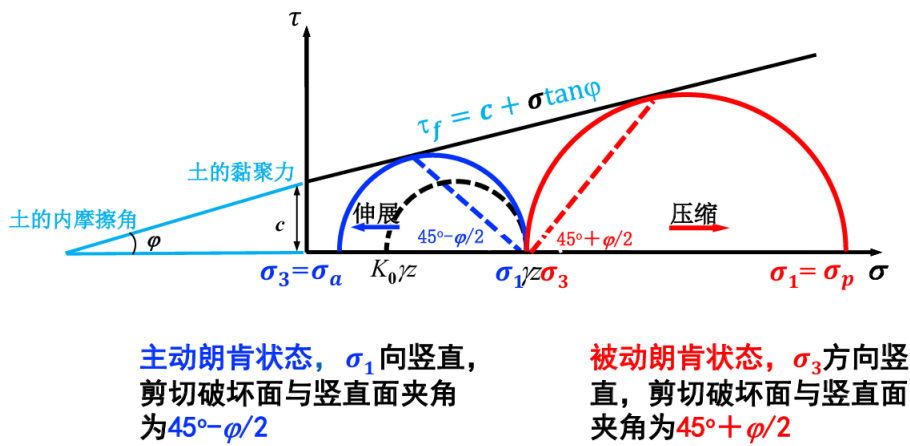


图 1.2: 莫尔圆

Definition 1.1.3. 由朗肯土压力理论，土体中某点处于极限平衡状态，可导出大、小主应力之间的关系式：

记 $K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$, $K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$, 而 γz 就是静止土压力

粘性土

$$\sigma_p = \gamma z K_p + 2c \sqrt{K_p}$$

被动土压力

$$\sigma_a = \gamma z K_a - 2c \sqrt{K_a}$$

主动土压力

无粘性土

$$\sigma_p = \gamma z K_p$$

被动土压力

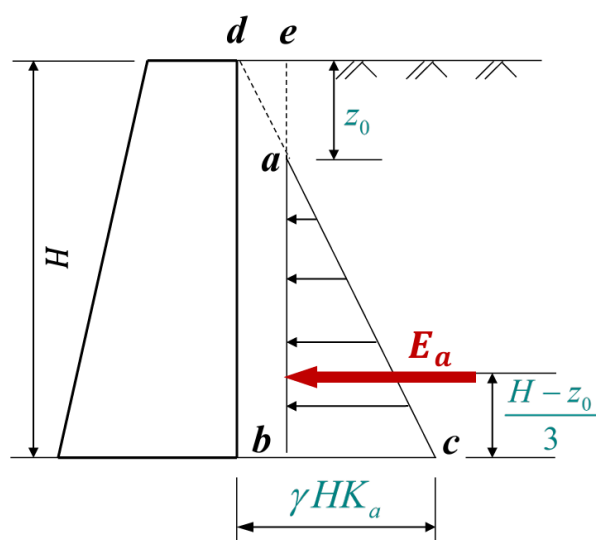
$$\sigma_a = \gamma z K_a$$

主动土压力

Remark. 粘性土产生的等效高度为 $\frac{2c}{\gamma\sqrt{K}}$

如果是主动土压力的话，粘性土起到拉拽的效果。如果是被动土压力的话，粘性土起到压缩的效果。

粘性土的主动土压力分布图



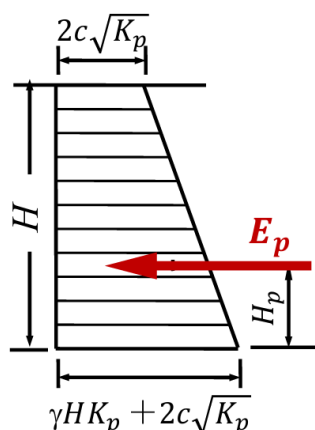
$$\text{临界深度 } z_0 = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}}$$

$$E_a = \frac{1}{2}(H-z_0)(\gamma H K_a - 2c\sqrt{K_a})$$

$$= \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a - 2cH\sqrt{K_a} + 2\frac{c^2}{\gamma}$$

图 1.3: 主动土压力

• 粘性土的被动土压力分布图



$$\sigma_p = \gamma z K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

➤ 粘性土被动土压力强度包括两部分：

1. 土的自重引起的土压力 $\gamma z K_p$
2. 粘聚力 c 引起的侧压力 $2c\sqrt{K_p}$

➤ 土压力合力

$$E_p = (1/2)\gamma H^2 K_p + 2cH\sqrt{K_p}$$

图 1.4: 被动土压力

1.2 水压力

水对结构的作用包括化学作用与物理作用；

1. 化学作用表现为水对结构的腐蚀或侵蚀作用；
2. 物理作用表现为水对结构的力学作用，即水对结构表面产生的静压力和动压力。

Definition 1.2.1.

$$p = p_{\text{静}} + p_{\text{动}}$$

$$p = p_{\text{静}} + p_{\text{动}} + p'_{\text{动}}$$

解释下，这里是采用了流体力学的处理方法，将流水压力分解为动水压力和静水压力两部分。其中动水压力又分解为时段平均动压力和脉动压力。

Remark. 实际计算中 $p'_{\text{动}}$ 采用较大的可能值，一般取3-5倍的脉动标准差动。水压力还可能引起结构振动，在结构设计时，必须加以考虑。

Example 1.2.1. 在水流过结构物表面时，会对结构物产生切应力和正应力，切应力与水流的方向一致，且只有在水低速流动时才表现出来。(错，实际上切应力与水流的方向平行，且只有在水高速流动时才表现出来。)

1.3 波浪荷载

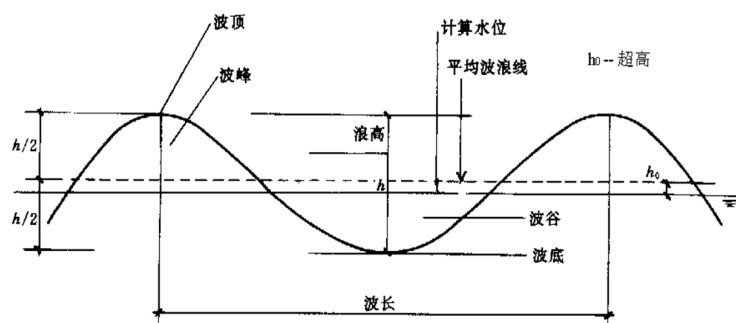


图 1.5: 波浪荷载示意图

Definition 1.3.1. 波浪在干扰力的作用下生成：

- 由风力引起的波浪称为**风成波**
- 由月球引力引起的波浪称为**潮汐波**
- 由船舶航行引起的波浪称为**船行波**
- 由海底地震引起的波浪称为**海啸**

对港口建筑和水工结构来说，风成波影响最大，是工程设计主要考虑对象。

Definition 1.3.2. 波高和波长的比值 h/λ 称波陡

平分波高的水平线称波浪中线

波浪中线到静止水面的垂直距离称超高，用 h_0 表示

波顶向前推进一个波长所需的时间称波周期，用 T 表示。

1.3.1 波浪的传播过程

在海洋深水区 ($d > \frac{L}{2}$)，波浪运动不受海底摩擦阻力影响，称为**深水推进波**。

在海洋浅水区 ($d < \frac{L}{2}$)，海底对波浪运动产生摩阻作用，称为**浅水推进波**。

当浅水波继续向海岸推进时，波陡相应增大，波峰发生破碎，这个区域称为**波浪破碎带**。

浅水推进波破碎后，又重新组成新的波浪向前推进，几度破碎，形成一股水流向前推移，这种波浪称为**击岸波**。

击岸波形成的冲击水流即为**波浪荷载**。

现行确定波浪荷载的方法带有很大的经验性，一般情况下当浪高超过0.5m时，应考虑波浪对构筑物的作用力。

Corollary 1.3.1. 直墙上波浪荷载应按三种波浪进行设计：

- (1) 立波——原始推进波冲击垂直墙面后和反射波互相叠加形成的一种干涉波，只有上下运动而没有水平方向运动；
- (2) 近堤破碎波——距直墙附近半个波长范围内发生破碎的波；
- (3) 远堤破碎波——距直墙半个波长以外发生破碎的波。

1.4 冻胀力

Definition 1.4.1. 冻土：

具有负温度或零温度，其中含有冰、水汽、液态水，且胶结着松散固体颗粒的土。
冻土是多相天然复合体，是非均质、各向异性的多孔介质

Corollary 1.4.1. 土的冻胀原理和效应

1. 冻土抵抗外力的强度提高
 2. 地基土冻结时产生冻胀，融化时产生融陷。这样的变形在受到结构物约束时，引起结构发生变形和产生内力。
 3. 主要表现在冬季低温时结构物开裂、断裂，严重者造成结构物倾覆等；春融期间地基沉降，对结构产生变形作用的附加荷载。
-
1. **颗粒越细冻胀越强**，如粉性土冻胀最强烈
 2. 土体冻结时，土颗粒之间相互隔离，产生位移，使土体体积产生不均匀膨胀。
 3. 当冻胀力达到一定界限时，就不再产生冻胀，这时的冻胀力就是**最大冻胀力**。
 4. 土体的冻胀及其特性既受到土颗粒大小的影响，也受到土颗粒外形的影响。
 5. **含水量越大，地下水位越高，冻胀程度越大**。

Remark. 作业题:叙述土的冻胀原理（简洁版本，下面是完整版本）

冻胀原理：水体向冻结锋面迁移，使在冻结面上形成了冰夹层和冰透镜体，导致冻层膨胀，地层隆起。同时土体冻结时，土颗粒之间相互隔离，产生位移，使土体积产生不均匀膨胀。

土的冻胀是土中水分冻结时产生的体积膨胀。冻胀的三要素为：**水分、土质、负温度**。即土中含有足够的水分，水分冻结成冰后会导致土颗粒发生**位移**，并使水温降至冰点以下。

水分由下部土体向冻结锋面发生**迁移**，在冻结面上形成冰夹层和冰透镜体，导致冻层膨胀，使地层**隆起**。含水量越大，地下水位越高，冻胀程度越大。

土体冻结时，土颗粒间相互隔离，产生位移，导致土体体积产生**不均匀膨胀**。

在**封闭体系**中，冻土体积膨胀产生向四面扩张的内应力，这个力称为**冻胀力**，冻胀力随土体温度变化而变化。

在**开放体系**中，分凝冰的**劈裂**作用使地下水源不断补给孔隙水，水侵入土颗粒间，迫使土颗粒**被迫移动**，产生冻胀力。当冻胀力使土颗粒扩展受束缚时，这种反束缚的冻胀力表现出来。

当冻胀力达到一定**界限**时，不再产生冻胀，此时的冻胀力即为**最大冻胀力**。

建筑物在冻胀土上的结构会使地基土的冻胀变形受到**约束**，导致地基土的冻结条件发生改变，进而影响周围土体温度，并将外部荷载传递到冻结土中的**束缚力**。

冻胀力反映在结构物上，导致结构物发生**位移和变形**。

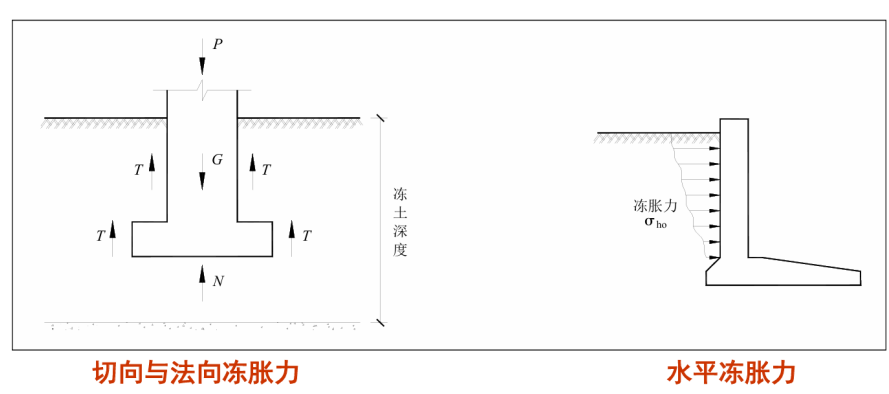


图 1.6: 冻胀力作用示意图

冻胀力按方向分为法向、切向和水平。切向平行于结构侧面，起到一个提起结构的效果。法向垂直于地面，当达到法向作用的深度，法向力起到一个抬升作用。水平力起到一个挤压推动的作用，会导致结构水平方向变形或者位移。

1.5 冰压力

1. 静冰压力

- 冰堆整体推移
- 风和水流作用于大面积冰层
- 冰覆盖层受温度变化产生膨胀力
- 冰层因水位升降产生竖向作用力

2. 动冰压力：主要指河流流冰产生的冲击动压力。

1.6 撞击力

通航河流中的桥梁墩台在服役过程中可能遭到船只或漂流物撞击，设计时需予以考虑。

其中，船舶撞击力的影响因素有：

1. 环境因素（风浪、气候、水流等）
2. 船舶特性（船舶类型、尺寸、行进速度、装载情况等）
3. 桥梁结构因素（桥梁构件的尺寸、形状、材料、质量和抗力等）
4. 驾驶员反应时间