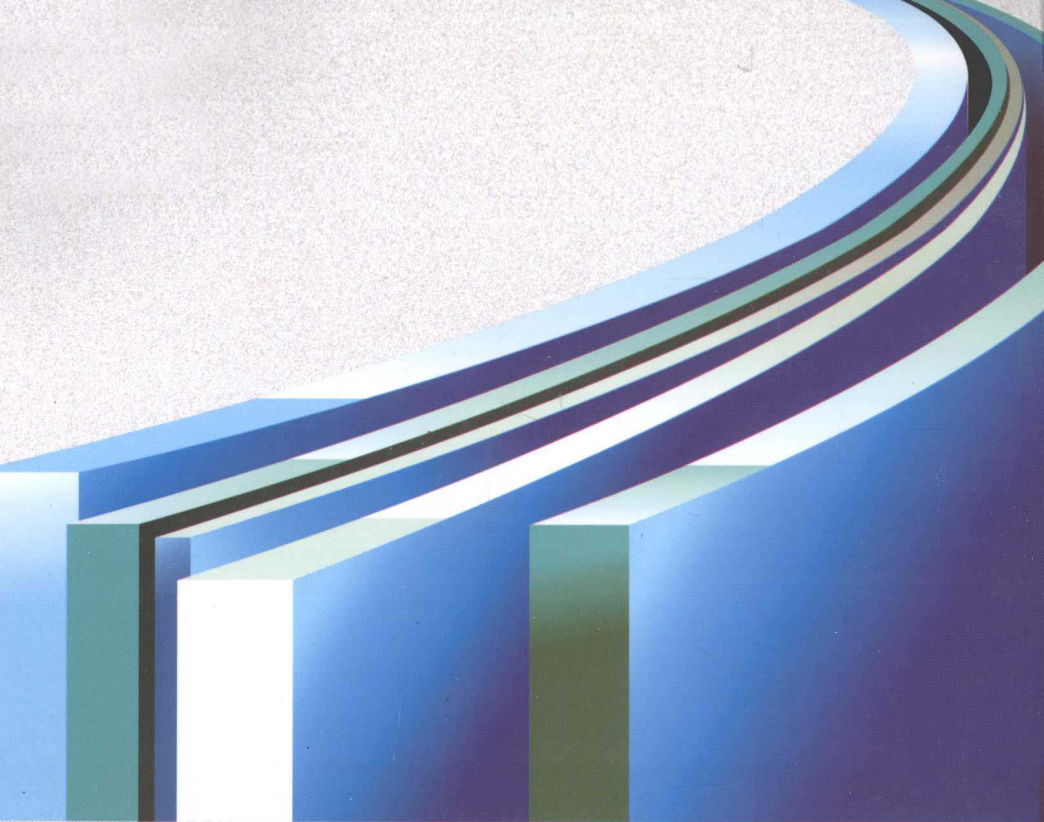




位移及拱效应下的 土压力计算方法

WEIYI JI GONGXIAOYING XIAD
TUYALI JISUAN FANGFA

卢坤林 朱大勇 杨扬 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

位移及拱效应下的 土压力计算方法

卢坤林 朱大勇 杨 扬 著

国防工业出版社

·北京·

前 言

挡土墙作为一种常见的支挡结构物,广泛用于土木、水利、交通等行业的相关工程中,合理地确定土压力是挡土墙设计成败的关键,而经典土压力理论计算结果又不能完全反映实际土压力的情况,国内外众多学者一直致力于改善这一现状,其中不乏名家,提出了许多新的计算理论,使得土压力的计算理论渐趋完善与合理。

目前,土压力计算理论仍不完善,特别在考虑位移效应下的土压力计算方法方面。位移效应包括了挡土墙的位移模式和位移大小及方向,大量试验表明,位移效应对土压力的影响非常显著,需要在计算方法中予以反映,此类研究迅速成为土压力计算理论的一个前沿热点研究方向。

土拱效应是客观存在的,Handy 率先将其引入土压力计算理论中,取得了较为理想的效果。此后,不断有学者在这方面进行深层次挖掘,已成为土压力计算理论研究中的另一个热点。

时至今日,土压力计算理论中的两个热点研究方向虽已取得了很大的进展,但仍未研究透彻,最直观的表现国际顶级四大岩土类期刊上还能不断看到相关研究成果的报道,国内三大岩土期刊也常常刊登相关研究论文。

笔者认为,土压力计算理论中的两个热点研究的不足在于:①两个前沿问题之间交叉研究不足。两个热点方向不是独立的,而是同时存在的,目前的研究未能予以充分考虑,即研究位移效应时忽略土拱效

应,而讨论土拱效应时往往不考虑位移效应。②已有的考虑位移量与土压力关系的计算模型普遍存在参数不易确定的问题。模型参数的确定需要三轴试验或若干现场监测数据,制约了此类模型在实际工程中的应用。③有关不同位移模式下的土压力计算方法基本上只注重挡土墙发生平移、绕顶转动和绕底转动三种特殊情况的研究,而对于挡土墙发生组合位移情况(如平移+转动)研究甚少。

本书针对上述三点不足,比较系统地进行了探索性研究,取得了一些阶段性成果,并概括了国内外学者的相关研究成果,整理成书,以飨读者。另外,笔者希望这本书的出版能为土压力计算方法研究的进一步开展打下一个基础,起到抛砖引玉的效果。

全书共分为7章。第1章绪论,主要介绍课题研究目的和意义、位移效应和土拱效应对土压力的影响以及国内外研究成果综述。第2章任意位移模式刚性挡土墙土压力研究,针对不足③,通过量化位移模式和引入折减系数,提出了能够计算任意位移模式的刚性挡土墙土压力计算公式。第3章土压力与挡土墙位移的近似关系研究,针对不足②,通过对大量实测数据的拟合分析,提出了一个参数易于确定的土压力与位移近似关系式。第4章基于填土应力路径的土压力位移模型,针对不足②,通过类比三轴试验建立内外摩擦角发挥值与位移量的关系,植入斜微分单元法中,建立了位移土压力计算模型。第5章考虑位移影响及土拱效应的土压力研究,针对不足①,建立了充分融合了位移效应和土拱效应后的土压力计算公式。第6章考虑土拱效应的挡土墙地震土压力及其分布,建立了考虑土拱效应的地震土压力计算公式,并与不考虑土拱效应情况进行对比讨论。第7章总结与展望,对本书研究内容进行全面总结,指出下一步研究的方向。

本书的研究和撰写,得到了国家自然科学基金面上项目(编号为40772172、51078123和51179043)、教育部博士点基金项目(编号为200901111110014)和合肥工业大学科技发展基金项目(编号为

2009HGXJ0037)的资助。还得到了合肥工业大学土木与水利工程学院的胡成、姚华彦、汪鹏程、陈菊香、朱朝辉、朱亚林、吴继峰、沈银斌、伦冠海、陈龙飞、师林等的帮助,特此向他们表示深深的谢意。同时书中引用了大量国内外相关专家学者的研究成果,在此一并致谢。

作者衷心感谢国防工业出版社,特别感谢丁福志等编辑为本书的出版付出的辛勤劳动。

由于书中尚有许多内容不太成熟,需要进一步探讨和研究,加之笔者水平有限,书中多有不足之处,恳请读者批评指正,联系邮箱: hgd230009@163. com。

作者

2011 年 10 月于合肥工业大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 土压力理论研究的目的和意义	1
1.2 位移模式对土压力的影响	2
1.3 位移大小对土压力的影响	7
1.4 土拱效应对土压力的影响	11
1.5 本书研究内容及框架	15
参考文献	15
第 2 章 任意位移模式刚性挡土墙土压力	19
2.1 概述	19
2.2 位移模式与层间等效内摩擦角	20
2.3 计算模型及单元应力分析	22
2.4 任意位移模式主动土压力计算	23
2.4.1 基本方程的建立	23
2.4.2 主动土压力分布	24
2.4.3 主动土压力合力大小及作用点高度	25
2.5 任意位移模式被动土压力计算	26
2.5.1 基本方程的建立	26
2.5.2 被动土压力分布、合力大小及作用点高度	27
2.6 折减系数 ξ 对土压力的影响	29

2.7 与试验对比分析	31
2.8 其他研究成果介绍	33
2.8.1 DUBROVA 计算模型	33
2.8.2 彭述权计算模型	34
2.8.3 王元战计算模型	36
2.8.4 马文国计算模型	37
2.9 本章小结	39
参考文献	40
第3章 土压力与挡土墙位移的近似关系	43
3.1 概述	43
3.2 挡土墙位移对土压力的影响规律	44
3.3 土压力与挡土墙位移近似关系的推求	45
3.3.1 主动土压力与挡土墙位移的近似关系	45
3.3.2 被动土压力与挡土墙位移的近似关系	49
3.3.3 土压力与挡土墙位移近似关系的特点	52
3.4 合理性验证	52
3.4.1 杨斌的室内模型试验	52
3.4.2 陈页开的数值模型	54
3.4.3 徐日庆室内模型试验	54
3.4.4 韦会强离心试验	55
3.4.5 验证效果分析	56
3.5 考虑位移的朗肯土压力理论	56
3.6 考虑位移的库仑土压力理论	58
3.7 与其他方法的比较	60
3.7.1 常见土压力位移模型介绍	60
3.7.2 与常见模型的比较	63
3.8 工程应用	65

3.9 本章小结	68
参考文献	68
第4章 基于填土应力路径的土压力位移模型	72
4.1 概述	72
4.2 应力路径类比的可行性论证	72
4.3 内、外摩擦角与位移的关系	75
4.3.1 主动情况	75
4.3.2 被动情况	78
4.4 土压力位移计算模型	81
4.4.1 基本假定	81
4.4.2 主动土压力位移模型	82
4.4.3 被动土压力位移模型	85
4.5 与模型试验结果比较分析	87
4.5.1 主动情况	87
4.5.2 被动情况	88
4.5.3 模型效果评述	89
4.6 讨论	89
4.6.1 黏聚力的等效处理	89
4.6.2 黏性土的土压力位移计算模型	90
4.6.3 应变软化型土体内摩擦角发挥值的处理	91
4.7 其他研究成果介绍	92
4.7.1 张建民计算模型	92
4.7.2 黄斌计算模型	93
4.7.3 施建勇计算模型	93
4.8 本章小结	94
参考文献	94

第 5 章 考虑位移影响及土拱效应的土压力	97
5.1 概述	97
5.2 墙体位移对摩擦角的影响	98
5.3 墙背土体应力分析与侧土压力系数	99
5.4 考虑位移影响和土拱效应的土压力计算	102
5.4.1 模型及受力分析	102
5.4.2 基本方程的建立	104
5.4.3 土压力强度	105
5.4.4 土压力的合力	106
5.4.5 土压力的合力作用点	107
5.4.6 不同情况下的土压力计算成果汇总	108
5.5 模型试验数据验证	111
5.5.1 土压力的分布	111
5.5.2 土压力合力作用点	112
5.5.3 计算模型与试验数据的比较汇总	113
5.6 讨论	116
5.7 本章小结	117
参考文献	117
第 6 章 考虑土拱效应的地震土压力及其分布	121
6.1 概述	121
6.2 拟静力分析法	122
6.3 挡土墙后滑裂面	122
6.3.1 主动情况	122
6.3.2 被动情况	124
6.4 考虑土拱效应的土的侧压力系数	125
6.5 地震作用下挡土墙主动土压力	126

6.5.1	基本方程的建立	126
6.5.2	主动土压力分布	127
6.5.3	主动土压力合力与作用点	130
6.6	地震作用下挡土墙被动土压力	131
6.6.1	基本方程的建立	131
6.6.2	被动土压力的分布、合力与作用点	132
6.7	本章小结	135
	参考文献	135
第 7 章	总结与展望	138
7.1	总结	138
7.2	展望	140
附录 A	水平层分析法基本过程	143
附录 B	土拱效应分析基本过程	146

第 1 章 绪 论

1.1 土压力理论研究的目的是意义

目前,土压力理论还不完善。

土压力是土力学中的一个重要的研究课题,自 18 世纪开始就有众多学者开展了这方面的研究,提出了各种土压力计算理论和计算方法,其中最著名的是库仑土压力理论和朗肯土压力理论^[1],这两个土压力理论因其计算简单和力学概念明确,在工程实践中得到了广泛的应用,至今还是工程建设中进行土压力计算的基础。

库仑土压力理论是根据墙后土体达到极限平衡状态并形成滑动楔体时,根据楔体平衡条件得出的土压力理论,仅能用于计算极限状态的土压力。朗肯土压力理论是从土中一点的应力极限平衡条件出发,对墙后进入极限平衡状态的土体进行应力分析,从而得到作用其上的土压力,该理论仅考虑墙背直立、光滑的情况,也只能用于计算极限状态的土压力。

土压力的大小与土和挡土墙相互作用密切相关,挡土墙的位移模式、位移大小、墙土摩擦特性,墙后填土的变形与强度特性以及墙后超载大小均对土压力的大小和分布规律产生影响,经典的库仑和朗肯土压力理论均无法考虑以上诸多因素的影响。

在土力学领域,土拱是用来描述应力转移的一种现象,这种应力转移是通过土体抗剪强度的发挥而实现的,Terzaghi^[2]通过活动门试验证实了土拱效应的存在。土拱效应也存在于挡土墙后的土体中,它引起墙后土体的主应力偏转,改变了土压力的分布。这也是经典土压力理

论不能考虑的。

挡土墙设计的经济合理,关键是正确地计算土压力,确定土压力的大小、方向与分布。目前实际工程中对土压力的计算仍然采用经典土压力理论,而大量实际工程情况与经典土压力理论的使用条件不符;虽然多年来对土压力理论的研究一直在继续,但至今还未能很好地解决不同墙体位移模式、位移大小、土体变形特性以及土拱效应等影响下的土压力大小和分布规律。近年来国内外陆续有学者发表该方面的研究成果,这都说明有必要对刚性挡土墙土压力问题进行继续研究。

1.2 位移模式对土压力的影响

在实际工程中,挡土墙可能受到各种约束,墙体将发生不同位移模式的移动,如平移(T)、绕墙底转动(RB)和绕墙顶转动(RT)等,如图1-1所示^[1]。

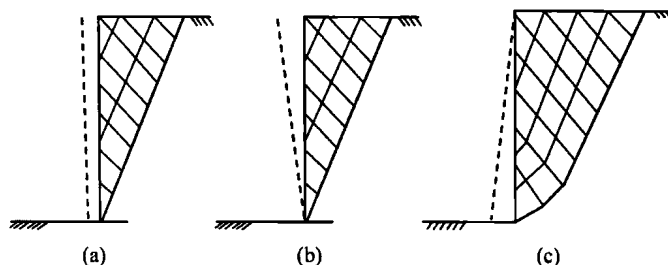
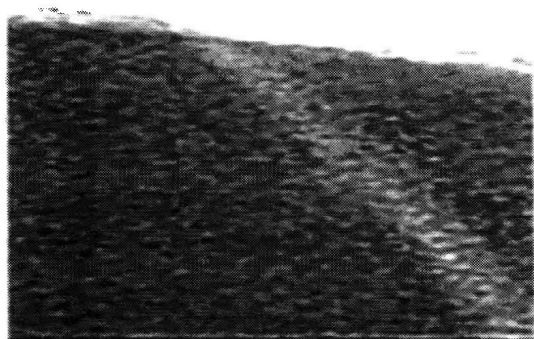


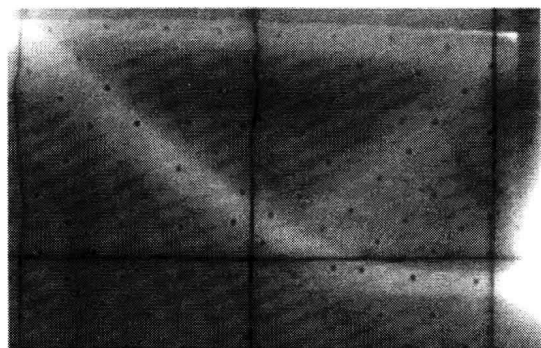
图 1-1 挡土墙位移模式示意图

(a) 平移; (b) 绕墙底转动; (c) 绕墙顶转动。

图 1-2 ~ 图 1-4 分别给出了不同位移模式下,达到主动和被动极限状态时的滑裂面形态^[3],可以看出:不同的位移模式滑裂面形态具有显著差别;仅主动状态下挡土墙平移破坏的情况下,墙后滑裂面为一平面,与库仑滑裂面假设一致,其他情况下滑裂面与库仑滑裂面差别较大。



(a)

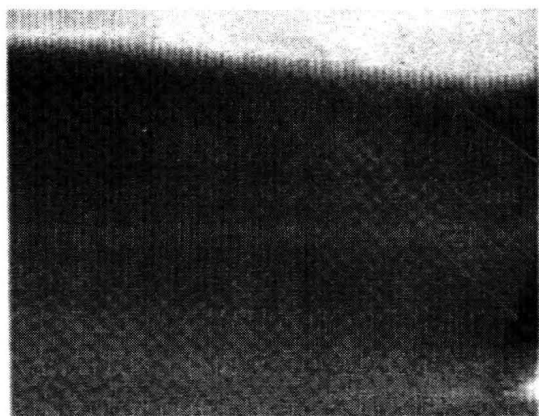


(b)

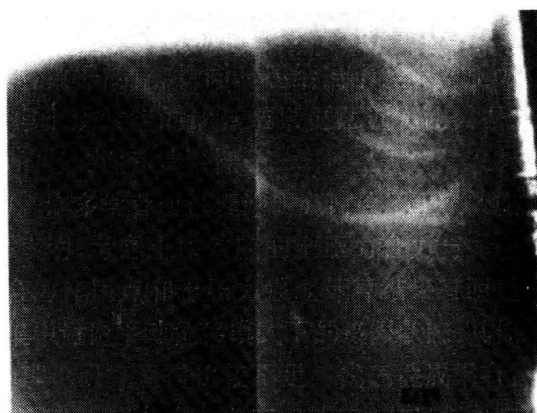
图 1-2 挡土墙平移模式滑裂面形态

(a) 主动破坏; (b) 被动破坏。

Fang^[4,5]较系统地研究了三种位移模式(T, RB 和 RT)对挡土墙土压力的分布和合力作用点的影响,图 1-5 给出了其试验结果。可见,挡土墙的位移模式对土压力分布和合力作用点的影响也比较明显。平移模式时,主动、被动土压力均呈近似线性分布,主动土压力合力作用点在 0.38 倍~0.47 倍墙高处,被动土压力合力作用点在 0.36 倍墙高处;绕墙底转动模式时,主动土压力呈非线性分布且分布形态下移,最大值出现在墙底处,合力作用点在 0.24 倍~0.30 倍墙高处,被动土压



(a)

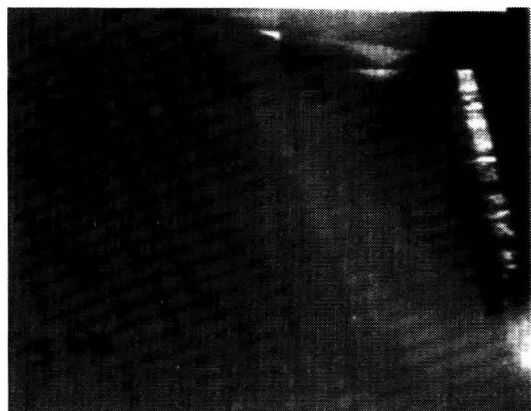


(b)

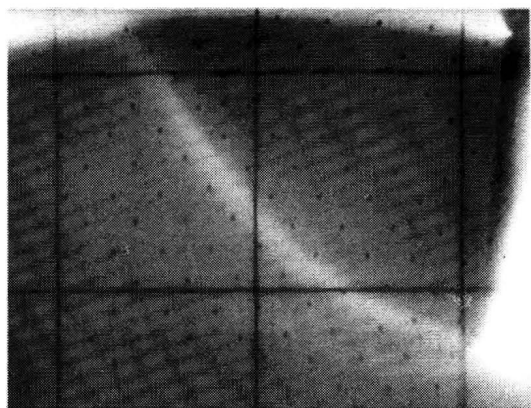
图 1-3 挡土墙绕墙底模式滑裂面形态

(a) 主动破坏; (b) 被动破坏。

力分布也呈非线性,最大值出现在墙体的中上部位,合力作用点在 0.55 倍墙高处;绕墙顶转动模式时,主动土压力呈非线性分布且分布形态上移,最大值出现在墙体的中下部,合力作用点在 0.39 倍~0.57 倍墙高处,被动土压力分布也呈非线性,最大值出现在墙底,合力作用



(a)



(b)

图 1-4 挡土墙绕墙顶模式滑裂面形态

(a) 主动破坏; (b) 被动破坏。

点在 0.18 倍墙高处。

由此可见,位移模式对土压力的影响显著,这种差异是经典土压力理论所不能反映的。因此,研究不同位移模式下的土压力大小及分布规律是具有实际意义的。

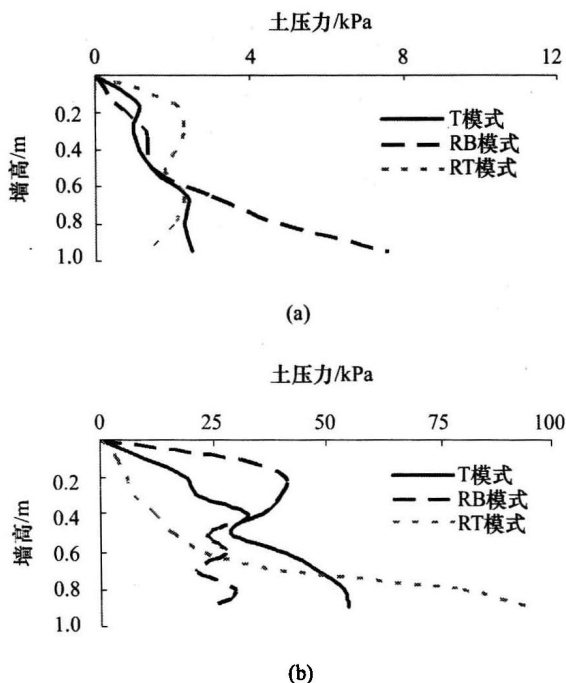


图 1-5 不同位移模式下的土压力分布(实测)

(a) 主动土压力; (b) 被动土压力。

目前,国内外关于位移模式的土压力计算方法很多,基本上也可以归纳为两类:

(1) 认为土体抗剪强度的发挥符合某种规律,改进库仑土压力理论,得到不同位移模式的土压力分布。典型成果有: Dubrova^[6] 采用“应力重分布法”提出了不同墙体位移模式下,土压力非线性分布的解析解; Bang^[7] 根据模型试验,改进了 Dubrova 提出的土压力计算方法,建立了绕墙底向外转动位移模式(RB)下的土压力计算表达式; Chang^[8] 通过对不同位移模式下土体抗剪强度的发挥采用一种简单的方式表达,假定填土内摩擦角、墙土摩擦角的发挥与该点土体的位移呈线性关

系,对库仑土压力理论进行修改而得到一种简单的计算水平土压力的方法;徐日庆课题组^[9-11]结合 Chang 提出的强度逐渐发挥的概念,通过对库仑土压力理论进行修正,得到三种典型位移的土压力计算方法。

(2) 认为土体抗剪强度的发挥符合某种规律,改进水平层分析法,得到不同位移模式的土压力分布。代表性的成果有:王元战^[12,13]系统地推导了挡土墙平移(T)、绕墙底转动(RB)和绕墙顶转动(RT)时土压力的分布,得到了位移模式对土压力的合力无影响,但对土压力分布和合力作用点位置影响显著的结论;孔亮^[14]对 RT 位移模式下的挡土墙被动土压力进行了研究,用水平层分析法给出了墙体绕墙顶转动时的土压力解析公式,并且与库仑极限土压力进行了比较,结果显示:土压力计算值小于库仑极限土压力,合力作用点在 0.27 倍墙高处;马文国^[15]用水平层分析法详细推导了三种位移模式下土压力与位移的关系,得到主动、被动土压力的解析式,并得到试验数据的验证。

此外,绝大部分的此类研究集中在仅讨论挡土墙平移(T)、绕墙底转动(RB)和绕墙顶转动(RT)这三种典型位移模式中,而对于组合位移模式(RBT 和 RTT)则研究较少,而实际工程中,组合位移模式却最常见。

1.3 位移大小对土压力的影响

通常根据挡土墙是否移动以及移动的方向将土压力分为静止土压力、主动土压力和被动土压力三种,如图 1-6 所示。静止土压力是指挡土墙不发生任何方向的位移,墙后土体施于墙背上的土压力;主动土压力是指挡土墙在墙后土体作用下向前发生移动,致使墙后填土的应力达到极限平衡状态时,墙后土体施于墙背上的土压力;被动土压力是指挡土墙在某种外力作用下向后发生移动而推挤填土,致使墙后土体的应力达到极限平衡状态时,填土施于墙背上的土压力。

Terzaghi 首先通过试验研究了土压力和挡土墙位移间的关系,