

中國建築學會
學術論文集

第三集

結構部份

中國建築學會編

城市建設出版社

中國建筑学会學術論文集

第 三 集

(結 构 部 分)

中國建筑学会編

*

城市建設出版社出版

(北京阜外大街)

北京市書刊出版業營業許可証出字第088号

城市建設出版社印刷厂印刷 新華書店总經售

*

開本787×1092 1/18 • 4 $\frac{1}{2}$ 印張 • 65千字 插頁2

1957年12月第 1 版

1957年12月第1次印刷

*

印数: 1—1,1460册 定價: (11) 0.95元

前 言

1957年2月，中國建筑学会在召开第二屆全國會員代表大会期間，举行了第一次采取宣讀論文形式的全國性学朮活动。会上共提出論文四十余篇，由于時間关系，只宣讀了其中的十余篇，沒有來得及討論，会上代表們要求把这些論文彙編出版，以供各地建筑工作者的閱讀、研究和討論。会后，学会的学朮委员会組織了審查工作，又补充了一些当时未及在会上提交的論文，删去几篇已在“建筑学报”上發表过的論文，按学科分类，編成論文集，分为6冊，由城市建設出版社出版。

这次代表大会上的論文宣讀，由于是第一次举办，沒有經驗，事先准备工作較差，各地提出論文時間匆促，所以广泛性还是很不够的。但是各地會員对这件事十分重视，認真对待，大都先將論文提到分会，并由分会推荐，而宣讀时大家都踴躍参加，足以說明广大的建筑工作者对于科学研究工作和实际工作中的总结經驗都很关心与热情。我們相信，随着建設事業实践和建筑科学研究工作的日益开展，随着学朮活动工作经验的逐渐丰富，今后学朮論文的提出，無論在質和量方面，都会日益提高和增長。这次論文集的出版，標誌着一个良好的开端，也多少反映出了1956年我國建筑科学所达到的水平，如果对于今后建筑科学上的“百花齐放、百家爭鳴”能起一个推动作用，这就是很有意义的事了。

中国 建筑 学会

1957年7月

目 錄

一、灰土的物理力学性能及其使用·····	1
(一)灰土的物理力学性能·····	2
(二)灰土的使用·····	13
(三)結束語·····	14
二、填土地基与填土地基上的建筑物·····	21
(一)北京地区填土的成因类型、分布情况及其物理力学性質·····	22
(二)在填土地基上的几个建筑实例及其分析·····	26
(三)結束語·····	55
三、人工填土地基上建筑物基礎的几种处理·····	62
(一)填土压实·····	62
(二)新回填土經人工压实后的特性·····	62
(三)将建筑物的基础直接作在人工填土上·····	63
(四)深基础·····	65
(五)結束語·····	70

灰土的物理力学性能及其使用

北京市設計院研究室

概 述

我們祖先在華北地区，使用灰土來做建筑物的基础，根据可查考的文献証明，已經有上千年的歷史。在宋李明仲所著的“營造法”（1）里，已經詳細地說明了如何正确使用碎磚瓦片来加固地基。

从一些古老建筑物，用灰土做基础的情况来看，灰土从宋、元后就逐漸得到推广应用，到清雍正14年，並有了灰土地基的规范，記載在工部所頒布的“工程做法則例”（2）中，內称：“凡夯筑灰土，每步虛土7寸，筑实5寸；素土每步虛土1尺，筑实7寸，应用步数临期酌定。凡夯筑24把小夯灰土，先用大穢排底一遍，将灰土拌勻下槽……，其用料方面每小夯24把，用白灰1225斤，加虛黃土見方1丈，高2尺5寸，土8厘4耗；每小夯20把，用白灰1050斤，虛黃土見方1丈，高2尺5寸，土1分1厘2耗；每小夯16把，用白灰700斤，虛黃土見方1丈，高2尺5寸，土1分6厘8耗。”这說明灰土的使用，在那时不但已包括在国家頒布的工程做法中，並且也有了詳細的规定。最近我們在拆建的城牆中，在故宫后門一帶的拆迁建筑物中以及在东北城角北館地区（据称为清四爺府旧址）蒐集了一些旧灰土。它們大約都有了2、3百年的歷史，强度很高，在性能上說已經变成半岩石性的土壤了。尤其是北館地区旧王府的灰土基础，一共筑了10步，每步約十六、七公分，中間还夹有小块碎磚，表面看上去完全象是花崗石（見照片）。抗压强度达到58公斤/平方公分，容重达到2300公斤/立方公尺。

对于这样一个寶貴的遗产，虽然我們已沿用了很久，却始終沒有进行过系統的科学的試驗与分析，也沒有进行过适当的总结。国内最早对灰土进行試驗与研究的是前津沽大学試驗室。从1941年开始，曾采取了天津常見的土壤（10%粘土，60%淤泥，30%細砂），做了40个三七灰土样品的抗压試驗，养护在潮湿的箱內，經一定的時間相繼取出試驗。試



驗結果（共14年的試驗記錄）証明灰土的抗压强度有随時間增长的規律性。

解放后大规模的基本建設开始，对于这种就地取材、价格低廉的灰土基础的应用，大家都迫切地希望能通过試驗与研究来肯定它的价值。1955年在国家建委統一领导下，对灰土进行了系統地試驗与研究。由建筑工程部建筑技术研究所（现改称为建筑技术科学研究院）負責灰土的基本的物理力学性能的研究；北京市建筑工程局試驗室（现改为建筑技术研究所）負責研究不同的施工操作方法对灰土强度的影响；初期由北京市城市规划管理局勘测处和我院担任灰土粘聚力摩擦角和压缩模量等的研究；后期由我院負責担任剛性角的試驗。现在把两年来試驗所得的結果介紹于后。

这些試驗有的試件做的不够多，可能代表性不广；有的在試驗室內所做与野外的情况还有一定的距离；而灰土本身又不是匀質的物体，影响它的物理力学性质的因素又是很多的，例如制做灰土的两种材料，白灰与土壤，它們的成分就影响着灰土的性能；其次如操作的方法、白灰与土壤顆粒的大小、夯击的密实度等等都影响灰土的力学性能，因此这些資料的上下限值的幅度常常是較大的。

一、灰土的物理力学性能

（一）灰土的夯实

灰土是由石灰与土壤按一定的比例配合，並加以适当的水分經夯实后而成。也就是由固体的顆粒、液体的水及气体的空气三部分混合組成。灰土经过夯实后，能使顆粒在压力下相互填充，相互挤紧，排除灰土中的气体部分，获得更高的密实度。灰土的夯实是依靠水的滑潤作用来排除其中存在的气体，而对于已存在于灰土中的水分，則不能在短暫的夯击時間內使其逸出。

土壤顆粒的表层所附着的水膜，在含水量較低时，表现得很薄。这种极薄的水膜的极化，以及顆粒表面可溶盐和其他成分，在水膜中形成凝胶質，使水膜产生很大的抗剪力，变成极难移动的固体水，有力地胶結了相鄰的土壤顆粒。但只要繼續增加含水量，水膜就会加厚，抗剪力随着减弱，这样就形成了扩散水。这种水分与前者的性质，迥然不同，它表现出极低的抗剪力及充分的移动性。这样对土壤的夯实，起了滑潤作用。因此只有当顆粒間形成了扩散水，具备了良好的潤滑条件后，才能使夯击功能有效的利用于灰土的夯实上。对于灰土的滑潤作用來說，含水量愈大愈好。但如含水量过多，則对灰土的夯实反会起不良的影响。因为当含水量較大时，会使全部气体排除干淨，灰土处于饱和状态，則水分占的体积較大，于是灰土的密度就只能得到較小的数值。

砂性土壤的顆粒比面积（一克土壤的顆粒总展开面积的平方公分值，称为土壤的比面积）較小，促使有效的潤滑含水量也小，因此在一定功能下夯成的灰土密度

較大。粘性土壤的顆粒小，比面積大，促使有效的潤滑含水量高，在一定夯击功能下夯成的密度就小。故砂性土壤的潤滑條件比粘性土壤好；同時砂土質灰土所需的夯击功能比粘土質灰土小。但應說明各種土壤作成的灰土，其強度並不能以密度來衡量。粘土質的灰土，雖不易夯實，但強度反比砂土質的高，這是因為顆粒細的土壤，具有較大的活性之故。

其次，顆粒的級配對夯實也有一定的影響，顆粒級配均勻一致的土壤壓實性差；而顆粒大小搭配的土壤，則易于夯實。故對於顆粒較為一致的砂性土壤，可在其中摻入一定量的粘土，以改善其級配。如全部使用粘土，則顆粒太細，往往結成一團，在現場不易進行夯實。

石灰的均勻性及粗細程度能影響灰土中顆粒的級配，因此對於灰土的夯實，也起着一定的作用。灰土中的含灰量能明顯地引起灰土夯實性質的變化。各種配合比的灰土要達到同一干容重在個別最佳含水量時所需的夯击次數如表1。

在最佳含水量時各種灰土達到規定干容重所需的夯击次數

表 1

土種及夯击 次數 灰 土 比	粉 砂 土 1.6克/立方公分	砂質粘土(1) 1.55克/立方公分	砂質粘土(2) 1.50克/立方公分	粘 土 1.45克/立方公分
3:7	—	35	35	40
1:3	21	28	31	35
2:8	19	24	22	29
1:5	17	20	17	24

(註) 击實方法：以 $7.07 \times 7.07 \times 7.07$ 立方公分，击實器重2.5公斤錘，落距30公分。

石灰含量對於灰土夯實的影響，主要是消石灰，比重為2.35克/立方公分，比各種土壤都小，因此含灰量越多的灰土，比重越小，要達到同一干容重時的密度就要較高，夯击次數也要增多，此外消石灰的化學性質及不明顯的活性作用，也可能影響灰土夯實性質的改變。

(二) 灰土的最佳含水量

最佳含水量是在一定的夯击功能下，水的滑潤作用和水占據灰土體積，二者矛盾的統一體。在這種含水量下，能得到最大的密度。同樣當規定達到某一干容重時，最佳含水量是保證最小夯击功能的。不同土壤的灰土，在相同的夯击功能作用下具有不同的最佳含水量。粘性土壤比砂性土壤比面積大，因此需要較多的含水量。夯击時最佳含水量的大小，直接決定了灰土夯击後的干容重。最佳含水量大者，干容重小；這是由於水分占據了灰土中較大的體積，使灰土顆粒不能擠得更密實之

故。夯击量增加，灰土的干容重量亦增高。内部孔隙减少，最佳含水量降低，故当夯击功能增大时，要想得到更大的密实度，只有降低灰土中的含水量。显然最佳含水量是随夯击功能增大而减小；同样是随干容重之增加而减小。根据试验资料证明，灰土比愈大，最佳含水量就愈大。但总的来说，石灰含量之不同，对于最佳含水量之影响是较小的，一般不大于2%以上。

(三) 土壤与石灰对灰土强度的影响

土壤与石灰是组成灰土的两种基本成分。从第一节里我们就已知道，粘性土壤颗粒细、活性大，因此强度比砂性土壤高。从表2的试验结果看出，在同一配合比及同一夯击功能的情形下，粘性土的灰土强度比砂性土的高，二者相差在一倍左右。

用各种不同土壤在同一夯击次数及不同含灰量时的灰土
抗压强度

表 2

期 令	灰 土 的 种 类 土 比	粉 砂 土	砂 质 垆 土	砂 质 粘 土	粘 土	备 註
7 天	4:6	3.26	3.11	4.11	5.07	
	3:7	2.72	2.84	5.33	6.69	
	2:8	2.09	1.63	5.37	5.26	
28 天	4:6	5.25	3.87	—	5.07	
	3:7	2.97	4.52	—	9.30	
	2:8	4.76	4.49	—	8.40	
90 天	4:6	7.17	6.96	9.08	12.65	
	3:7	8.75	9.69	10.70	15.99	
	2:8	5.62	8.16	8.33	11.91	

石灰主要成分是 CaO 及 MgO 。一般称为钙石灰，如当 MgO 成分大于7%时，就称为镁石灰。由试验所得的资料说明，石灰中 MgO 的含量不会使灰土强度及水稳性有显著的增加。因此一般可以认为石灰的含镁量不影响灰土的质量（见表3）。但石灰的消解时间，却明显地影响着灰土的强度。因消石灰长久置于空气中，吸收了空气中的 CO_2 及水汽，所以就降低了它与水化合及与土壤表面起化学作用的活性能力。用消解24小时后及风化已久的石灰作成的灰土强度见表4。

钙石灰与镁石灰的3:7灰土抗压强度

表 3

养护 令期	土 的 种 类 灰 的 性 质 试 验 内 容	砂质粘土 (1) (干溶重 1.55 克/立 方公分)		砂质粘土 (2) (干溶重 1.50 克/立 方公分)		粘 土 (干溶重 1.45 克/立 方公分)	
		养 护 后 抗 压	养护后浸 水48小时 抗 压	养 护 后 抗 压	养护后浸 水48小时 抗 压	养 护 后 抗 压	养护后浸 水48小时 抗 压
7 天	钙 石 灰	7.06	3.71	6.00	2.69	8.85	3.95
	MgO含量10%石灰	8.62	5.53	6.71	4.18	11.34	9.96
	MgO含量20%石灰	8.28	5.78	7.23	4.69	10.98	9.30
128 天	钙 石 灰	12.01	7.54	8.25	5.29	15.22	8.11
	MgO含量10%石灰	11.10	8.37	9.18	6.74	12.20	8.56
	MgO含量20%石灰	11.20	10.03	8.90	6.67	12.60	10.90
备 註	註: 钙石灰成分: MgO4.22%, CaO89.5%。 MgO含量10%及20%的石灰是由钙石灰内加入5.78%及15.78%的純MgO粉而成。						

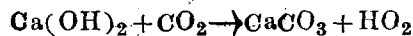
工地使用消解24小时及風化已久的石灰制成灰土的抗压强度

表 4

石 灰 类 别 灰 土 比 养 护 期 天	消 解 24 小 时 石 灰		風 化 已 久 的 石 灰	
	90 天	126 天	90 天	126 天
5:5	9.18	18.23	6.96	9.88
3:7	9.72	13.0	7.84	—
1:6	15.13	19.42	8.28	10.92

(四) 灰土配合比对强度的关系

从表2中看出,所列的各种土壤,在不同含灰量时,它們的抗压强度除了粉砂(7天与28天的)及砂质护埽(7天的)外,其他的4:6灰土的强度都低于3:7灰土的强度。且各种土壤4:6灰土的强度增长速度也較慢。这是因为石灰钙化的过程比較慢,同时消石灰在钙化过程中要放出水来:



一部分消石灰钙化后,含水量也将增加,这便增加了消石灰的塑性,因此过多的石灰並不能提高灰土的强度。灰土中未拌均匀的聚結消石灰即使全部钙化,亦不能形成坚固的硬块,而呈分散状的钙化物。只有当石灰分散于土壤的顆粒間时,才

能起有效的胶結作用，这种现象我們从古老的灰土里也得到了証明。因此灰土中含灰量过分增加，有时相反的会影响强度的減低。3:7含灰量的灰土，在各項試驗中有較好的性質。而小于3:7含灰量的灰土与3:7灰土之差，並不特別显著；且有时反而会表现得高。这說明含灰量在一定範圍內变动时，对于灰土的强度及水穩性並無极大的影响。

(五) 灰土强度与時間的关系

不論那种土壤，也不論是那种配合比的灰土，尽管它們的施工操作方法不同，或养护条件不等，但它們的抗压强度都是随着時間而增长的。表5是實驗室經過 90 天試驗的記錄。我們从北京北館地区取来的灰土（約200余年），它的抗压强度为 58公斤/平方公分。从故宫后門取来的灰土（200年左右），抗压强度达到80公斤/平

各种不同土質及不同配合比的灰土各期令抗压强度

表 5

試块說明	土壤种类	期令及灰土比	抗压强度			备註
			7 天	28 天	90 天	
第一次實驗室制块試驗	粉砂土	4:6	3.26	5.25	7.17	
		3:7	2.72	4.63	8.75	
		2:8	2.09	4.76	5.62	
	砂質垆土	4:6	3.11	3.87	6.96	
		3:7	2.84	4.52	9.69	
		2:8	1.63	4.49	8.16	
	砂質粘土	4:6	4.11		9.08	
		3:7	5.33		10.70	
		2:8	5.37		8.33	
	粘土	4:6	5.07	5.07	12.65	
		3:7	6.69	9.30	15.99	
		2:8	5.26	8.40	11.91	
	洛陽黃土	4:6	6.33		11.60	
		3:7	5.81	8.00	11.27	
		2:8	6.39	7.11	11.82	

方公分。灰土强度在夯实后，能随时间的增长而提高，主要是由于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （消石灰）本身的结晶与土壤表面的化合以及消石灰吸收 CO_2 ，变成 CaCO_3 等作用之故。不论消石灰本身的结晶与土壤化合或钙化，都能起胶结土壤颗粒的作用，通常在与空气接触的表面上，形成一层碳酸钙皮，阻止碳酸气深入内部，所以在内部，仅能产生氢氧化钙的结晶，与水分缓慢的蒸发。消解成粉末状的石灰，其活性度极低，因此强度的增长，主要是依靠后期的钙化作用。消石灰的早期强度，可由其存在的

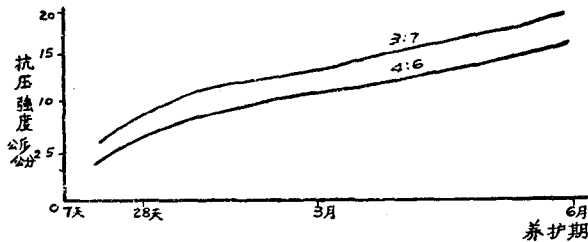


圖1 野外工地夯实取块的抗压强度与时间的关系

或多或少的活性度来解释。夯实后的灰土，由于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 较小的活性作用，在包含一定水分的环境中，或多或少形成一些结晶体；并与土壤表面产生一定的化学变化，使土壤颗粒得到一定的胶结作用。

(六) 灰土的强度与密实度的关系

灰土的强度所以能随密度的增大而提高，主要是由于密度大的灰土，其颗粒排列及嵌镶紧密，使颗粒在抗压时难以移动的原因。上部的颗粒可较多的通过直接接触面来传递压力。此外密度较大的灰土，为石灰与土壤的胶结作用造成良好的条件。石灰能在更广大的土粒表面，起胶结土壤的作用，使灰土产生更高的粘聚力。

用同一种土壤配成3种不同含灰量的灰土，以不同夯实度夯制之灰土强度见表6。

不同夯击度所得灰土的强度

表 6

灰 土 比	夯 击 方 法 (天)	一遍夯夯，一遍踏夯， 二遍大碾		二遍夯夯，一遍踏夯， 二遍大碾	
		90	126	90	126
5:5		9.8	12.48	11.32	16.94
3:7		10.8	14.3	15.6	18.15
1:6		12.57	14.63	17.24	22.23

从表里看出同样配合比及同样材料的灰土，二夯二碾的强度仅为三夯二碾的70%左右。

(七) 灰土浸水后对强度的影响

灰土作为基础材料，经常会遇到地下水的浸渍。为了解灰土浸水后的稳定性，从浸水抗压试验中知道密度較低的粉砂灰土，經7天、28天养护的試块，浸水48小时后，局部就松散而至破坏；經3个月养护后，浸水48小时的抗压强度，为同养护期而不浸水的試块强度的50~70%。砂质垆土、砂质粘土及粘土所夯成的灰土試块养护后，浸水48小时的抗压强度比不浸水者降低20~40%。灰土密度愈高，浸水与不浸水的强度之差值亦愈小。灰土随养护期的增长而逐步增强其水稳性。对于含水量較大的灰土，其早期水稳性較差，灰土的水稳性随着密度的提高而增强。因为紧密的灰土顆粒胶結坚固，难于透水。北京市建筑工程局曾在野外槽內打灰土三步，打完后即予以人工浸水14天，其60天的强度与未浸水者並無显著之差别。过去有些工程在施工时地下水位很低，后来水位增高，以致全部灰土浸于水中，但並不影响建筑物的坚固。我們从故宫后門拆房中取来之旧灰土（估計約有200年期令），自去年7月浸于水中迄今已达9个月，还毫无松解现象。这說明灰土随着令期的增长，不但增加了抗压强度，而且也增加了水稳性。同时也說明灰土在筑成后，在实际应用中，是不怕水浸的。

(八) 灰土的渗透性

灰土的渗透性究竟如何？从試驗室所得出的渗透系数（表7）中可看出。

灰土养护7天后的渗透系数

表 7

土 壤 种 类	灰 土 比	干容重 克/立方公分	10°C 时水渗透系数
砂 质 粘 土 (1)	3:7	—	—
	2:8	1.55	3.12×10^{-7} 公分/秒
砂 质 粘 土 (2)	3:7	1.50	1.16×10^{-6}
	2:8	1.50	1.48×10^{-7}
粘 土	3:7	1.45	4.85×10^{-7}
	2:8	1.45	4.05×10^{-7}

由以上試驗看出，灰土的渗透系数約在 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-7}$ 公分/秒之間。当各种灰土的密度增高或令期增长时，其渗透系数都繼續减小。灰土渗透系数比同样密度的素土渗透系数减小的原因，是灰土的稳定性所起的作用。我們曾在两块老灰土（故宫后門拆建时取来）中挖了两个約1公分深的洞，各用 $\phi 2$ 公分及 $\phi 2.5$ 公分的玻璃管用防水液砂浆封密之，前者注水178公分高，后者118.5公分高；自去年7月开始注水至今9个月未有渗水现象。我們又做了野外灰土的渗透試驗，做法如图。

底部筑一层碎磚混凝土，中部为1公尺見方的空洞，四周砌37公分厚之磚牆。外面打70公分寬之灰土共9步。靠近土壤处，砌25公分厚磚牆。外牆里面与底部均抹防水液一层，使水不致由該处渗出。等灰土打好后，过28天，即放水，水中染以紅色，以观察其渗透深度。这样在头10天，並無渗水现象，至第11天，发现水渗至空洞中，达60公分高，当即将空洞中水掏尽，发现水由底部渗入，同时在45公分高度处，亦有渗水现象。这說明灰土底部与碎磚混凝土連接处，做得不够紧密。45公分处渗水，則为二步灰土間之接縫，由於打破后表面光滑易於透水。随后我們又在灰土四角鑽取土样，測其湿度，結果在0.8~1.25公尺深度处，湿度相差仅1~3%，因不久冰冻，試驗未能繼續。但从这里可以看出：灰土本身是可以起防水作用的，如何防止二步灰土間縫隙透水，值得我們进一步的研究。

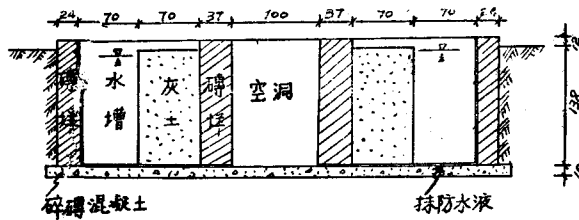


圖2. 野外灰土渗透試驗圖

(九) 灰土的壓縮模量

在試驗室測得砂質粘土（干容重为1.55公斤/立方公分）、粘土（干容重为1.45公斤/立方公分）的3:7灰土，养护7天后浸水約48小时之壓縮模量为100~160公斤/平方公分。养护28天后，浸水48小时之壓縮模量为320~400公斤/平方公分。根据在野外所做的剛性角試块，計算其壓縮模量时，28天的平均数值約在1000~3000公斤/平方公分之間。而在1955年冬季，在3:7砂質粘土灰土柱的野外加荷試驗中，可能由于灰土长期（102天暴露于空气中，55天适值雨季，下部浸于水中，上部用油紙包扎）暴露于空气中，外部起鈣化作用，同时試驗时又值天气寒冷，灰土冻结，故可測得极大的壓縮模量（見附錄）。

(十) 灰土的剛性角

灰土的剛性角是設計灰土基础时，对压力分布角度的主要依据。这次試驗，是分两批在野外进行的。所用的石灰与土壤，第一批未做分析，第二批石灰含鎂21.6%，土壤的塑性指数为7~9，配合比按体积計算为三成石灰，七成土壤（詳細情况：請参閱本院交流經驗第16期）。槽寬第一批3个均为1.50公尺；第二批分为1.20、1.50及1.80公尺等3种。受压面积則分为50×50、61×50及85×50公分等3种。这主要是通过不同寬度的情况，了解剛性角的变化。灰土厚度均为三步，共45公分。第一批

前一部分由縱向切出1.50公尺，橫向0.50公尺寬的試件，五面露空，进行試驗，其余試件，均在縱向，切出50公分的一条（見图3），三面露空，两端有側限。

對於剛性角的确定究竟应采用哪种試驗方法，我們还找不到适当的資料。根据剛性角的定义，每一种材料在承受荷重后，都可以确定側面對於豎線的 极限傾斜角 α （如图4）。同时在这样的角度下，还不会因为材料受到拉应力和剪应力而发生裂縫，那么这种材料的 α 角最大值（极限值）即叫做剛性角。



圖3 灰土剛性角試驗

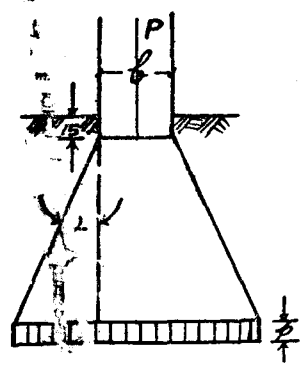
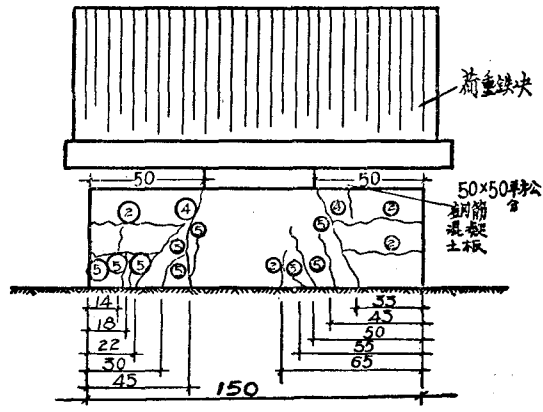


圖4 剛性角圖

在試驗中，我們发现1.50公尺寬的灰土試件，用50×50平方公分承压垫块的試件，初裂多半是在灰土底部垫块邊緣的附近。随着荷重的增加，裂縫也有所开展，裂縫的宽度下大上小，一般停止於1/3或1/2高度处。用50×31平方公分的磚垫时，亦有这种裂縫，但出现較遲，发展較慢(图5、6)。除了垂直裂縫外，随着还出现水平裂縫，这說明灰土在这种情形下，好象是一个懸臂梁，首先到了撓曲作用，因此产生了上述两种裂縫。当磚垫加至50×85平方公分时，則这种裂縫出现得很少，至以沒有。因此我們认为这时所得到的斜裂縫線的角度是符合於剛性角的。

第一次試驗

同一尺寸灰土用不同垫块时破裂情况图



(2-2) B面 图5a

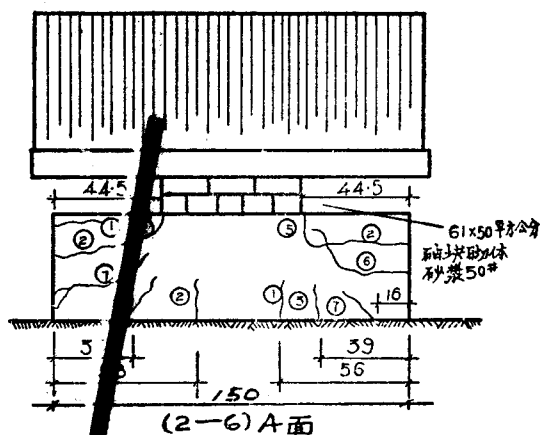


图5b

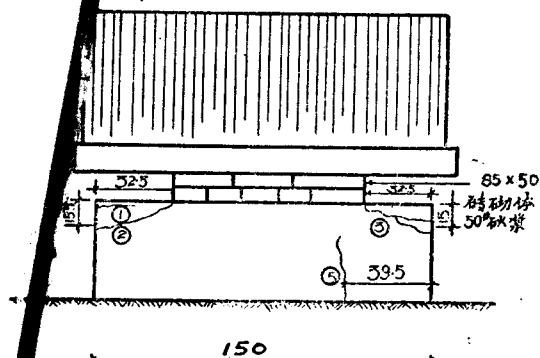
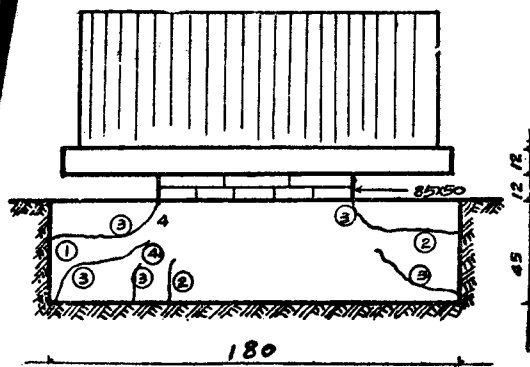


图5 各种不同垫块之刚性角试验 (试件5面露空)

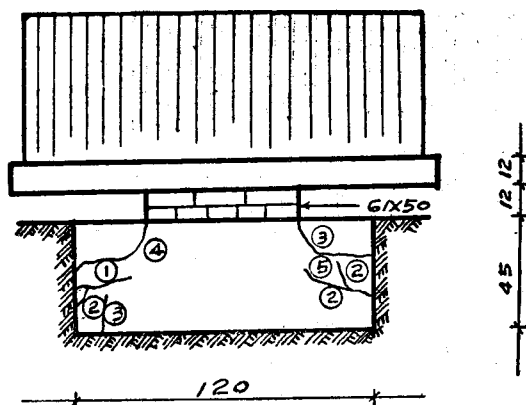
第二次试验

不同尺寸灰土用不同尺寸垫块时破裂情况图



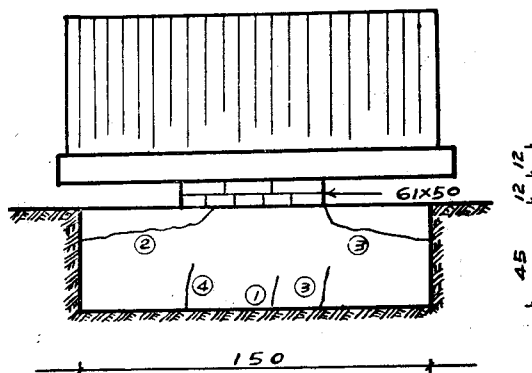
II-2-11

图6a



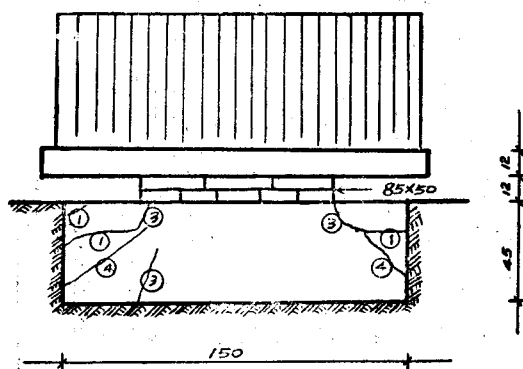
II-2-9

图6b



II-1-5

图6c



II-1-3

图6d

各种不同垫块之刚性角试验 (试件三面露空)

第一批試驗結果如表 1 所示；第二批結果如表 2 所示。其中剛性角度是斜裂縫與灰土底邊所成的角度，而不是與垂直線所成的角度。這是因為便於設計使用之故。正如上面指出承壓面為 50×50 平方公分及 50×61 平方公分的兩種試件，它們的剛性角是在彎曲受拉裂縫出現後才有的，因此這個角度的數值，並非極限值，此處僅供參考。

用 50×85 的承壓面加在 1.50 公尺寬的灰土上，是我們目前在設計上最常用的尺寸比例。從這批試件中所得的剛性角，絕大部分是不出現因受撓而產生的裂縫的，因此我們認為這些結果是合於剛性角的要求的。在第一批試驗中，28 天令期的最大剛性角為 45° ，最小為 $24^\circ 12'$ 。而在第二批試驗中，同樣試件的 28 天令期的個別試件為 $60^\circ 30'$ ，最小則為 $36^\circ 36'$ ；14 天令期的則分別為 $49^\circ 36'$ 及 $36^\circ 36'$ 。因此我們認為目前在設計灰土基礎時，剛性角採取 $56^\circ 30'$ ，即 1:1.5 是適宜的。

上面我們提出的一些初步意見，對於灰土下面的土壤情況以及它對灰土剛性角的影響是考慮得很不夠的，而灰土本身的壓縮模量及強度也是變化的。二者綜合起來，情況相當複雜，從規範上也可看出基礎剛性角的大小與下面的土壤耐力是有關係的，因此對這個問題仍需要作進一步深入的試驗與研究。

二、灰土的使用

根據以上的試驗，我們對於灰土有了初步的了解；也找到了一些科學的依據。就其強度與變形而言，可用於擴散砌體的壓力。一般 28 天灰土的抗压強度大約可以達到 5~7 公斤/平方公分左右，試驗與經驗都證明灰土基礎雖在短期內受水的浸濕，但仍是穩定的；而且在水退去後，強度仍將繼續增長。因此我院在設計方面，曾統一規定 5 層及 5 層以下之混合結構，在施工時無地下水者，一般均應採用灰土基礎，以節約水泥。北京俄語專科學校及北京工業學院 5 層樓的基礎，就採用了灰土，效果良好。今年我院又將使用範圍由 5 層提高到 6 層。

灰土也適用於作軟弱地基上的墊層，在這種地基上如採用灰土基礎，通過幾次夯實，更能加實下面的密度。如天津體育館（24 公尺高）就以 5 公尺寬、2.2 公尺厚的 1:9（體積比）灰土，作為建築物的墊層，至今並無不均勻下沉現象。

灰土 28 天的滲透系數約為 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 公分/秒，如密度加大，滲透系數還要小。再從舊灰土來看，隨著令期的增長，不但灰土強度有了提高，而且也使其更加堅實。有些河道的護岸，後面用灰土填充，可以起到很好的防滲作用。如故宮的護城河，在河岸後面就有上面 1 公尺厚、底面 1.7 公尺厚的灰土牆。一般如在房屋室內的地面上打一層灰土，就可以適當的起到防潮作用。在西北也曾利用了灰土做地下室防潮之用。

灰土的抗压強度，按北京一般工地的操作方法，從野外取樣試驗結果，28 天的強度約為 5~7 公斤/平方公分。但這個強度在設計時，並不起決定性作用，主要還