

145015

87.108
RTC
13

152006

一九五六年全國鐵道科學工作會議
論文報告叢刊
(13)

土的剪切試驗比較報告



鐵道工程系

人民鐵道出版社

87.108



一九五六年全國鐵道科學工作會議論文報告集刊
(13)

土的剪切試驗比較報告

一九五六年全國鐵道科學工作會議論文編審委員會編

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第212號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

(北京市建國門外七聖廟)

1957年6月第1版第1次印刷

平裝印1——1,030冊

書號: 763 開本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印張: 14 $\frac{1}{2}$ 字數: 14千定價(9)0

統一書號: 15013·316

前 言

1956年全国铁道科学工作会议征集了技术报告、总结、论文三百余篇。它的内容，包括铁路业务的各个方面，基本上显示着全体铁路技术人员和有关高等学校教师们几年来在科学技术方面辛勤劳动的成果。对现场实际工作有参考价值，对铁路新技术的采用和发展方向，有启示作用。为此，刊印丛刊，广泛流传，保存这一阶段内的科技文献，以推动科学研究的进一步开展。

会议以后，我们对全部文件进行一次整编工作，然后组织部内设计总局、工程总局、工厂管理局、人民铁道出版社、车务、商务、机务、车编、工务、电务各局、铁道科学研究院、北京、唐山铁道学院、同济大学、大桥、定型、电务等设计事务所的有关专业同志对每篇内容仔细斟酌，选择其中对目前铁路业务有广泛交流意义，或是介绍铁路新技术方向、和系统的经验总结，将性质相近的文件合订一册，单独发行。为了避免浪费，凡是其他刊物或是以其他方式刊印过的文件，除特殊必要外，一般都不再刊载。出版顺序根据编辑和定稿的先后，排定丛刊号码，交付印刷，并无主次之分。

苏联铁道科学代表团在会议期间曾经做过九次学术报告，我们已将文字整理，编入了丛刊。

文件中的论点，只代表作者意见，引用或采用时，还应由采用人根据具体情况选择判断。

丛刊方式还是一种尝试，我们缺少经验，希望读者提供意见，逐步的改进。

铁道部技术局

1957年2月

土的剪切試驗比較報告

周 鏡 楊 偉

粘性土的抗剪強度測定方法，目前還存在着許多不同的看法。各國的學者正在這方面——粘性土的抗剪強度理論和測定方法——進行着長期的、大量的研究工作。在未得到肯定的結果前，仍須採用現有的方法進行試驗，其中以直接剪切法較為普遍和簡單。現場各試驗室，因採用的資料來源不同，對直接剪切試驗所採用的方法亦不統一，因此有必要對於各種資料中有关剪切試驗方法的同異處予以研究，提供現場參考。

目前直接剪切試驗方法中存在的主要差別有：（一）控制試樣密度的方法——超壓密法或正常壓密法；（二）試驗終結的標準；（三）水平剪應力增加的標準；（四）應力式和應變式的比較問題。根據這些問題以及填土制樣等問題進行了一系列比較試驗，並得到了初步的結果。

（一）試樣密度的控制

現行的兩種控制試樣密度的方法是：（1）超壓密法；（2）正常壓密法。

超壓密法系將試樣在較大的垂直壓力，如 4~6 公斤/公分²下使其固結，然後將垂直壓力退減到較小的、不同的壓力下進行剪切試驗。正常壓密法即過去通用的方法，將試樣在不同的壓力下壓密，然後即在該壓力下進行剪切。因為它們的物理意義不同，兩種方法所得結果也不同。對於同一土樣，前者所得凝聚系數 C 的值大，剪切角 ϕ 的值較小；而後者所得的 C 值相對的小些， ϕ 值則較大些。這種現象可以從土的壓縮曲線特性中得到解釋。

在固結試驗中，將土樣逐漸加荷到某一荷重，然後再依次卸荷，這樣可以得到一組壓密和膨脹曲線。正常壓密法下所得試樣的密度是沿着壓密曲線改變，而超壓密法所得試樣的密度是隨着膨脹曲線改變。因此超壓密法的試樣在同一垂直壓力下它的開始密度（剪切前）比正常壓密法的大。由於相應各點的密度不同，因此在剪刃圖上超壓密的剪切曲線比較緩，而正常壓密的曲線較陡，如圖 1 所示。

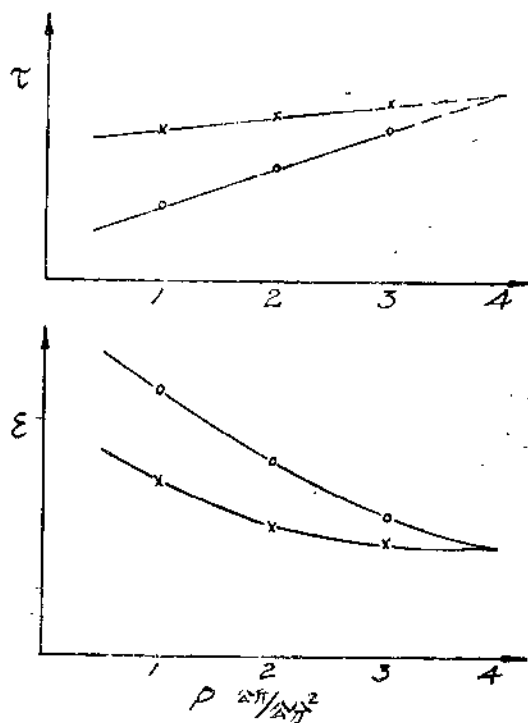


圖 1

正常压密的试样各点的开始密度有显著的差别，因此从剪切图中所得到的 C 和 ϕ 值，仅代表试样强度和压力间的参变数，不能把它认为是土的真正凝聚系数和内摩擦角。超压密法中试样各点的密度比较相近，一般将这种方法所得到的 C 和 ϕ 作为土样在超压密压力状态下的凝聚系数和内摩擦角，事实上，超压密法中有许多问题，尚须进一步研究。

(1) 超压密法的各点的开始密度并不完全相同，超压密压力愈小，则这种差别愈大。

(2) 超压密法所得的 C 值偏大，在实际应用时，如何正确的选定 C 的数值尚存在着一些问题。

(3) 原状土作超压密试验缺乏明确的物理意义。由上可知超压密法所得结果，在应用时有困难。同时土力学中有关稳定性的理论是建立在库伦定律的基础上，而正常压密法所得土的抗剪强度的指标符合这一要求，因此在经常试验中仍应采用正常压密法。

(二) 试验终结的标准

现有资料中，对试验终结标准有两种不同的规定。一种是以试样完全剪坏作为试验终结的标准；另一种是规定剪坏或者剪变形超过2公厘时作为终结的标准，不考虑试样面积大小对剪变形的影响〔1〕。当总剪变形大于2公厘时，两种标准所得结果显然不同。此时，以剪变形超过2公厘作为终结标准所得每个点的强度较之完全剪坏时为小，似乎这种规定偏于安全。但是，由于剪应力—应变曲线的性质非常复杂，因此强度的降低和所得的结果是否有规律，尚须深入研究。

在比较试验中，曾用三种不同的土进行试验，这三种土的一般物理性质如下表所示：

土 类	液限	塑限	塑性 指数	比重	最佳 含水量	最佳 密度	产 地	颗 粒 分 析			
								>0.5	0.5~0.05	0.05~0.005	<0.005
B号土	29.7	19.1	10.6	2.66	16.3	1.81	北 京	0	29	49	22
白粘土	38.2	19.0	19.2	2.67	19.0	1.73	广 东	0	9.5	27	63.5
红粘土	71.0	43.0	28	2.79	33.0	1.35	湖北咸宁	0	6	53	38

试验时，所有试样都以完全剪坏为终结标准，然后根据剪变形的数据来分析第二种规定所得的结果。将剪变形超过2公厘时土的强度与最终强度比较，发现强度的降低和 C 、 ϕ 的

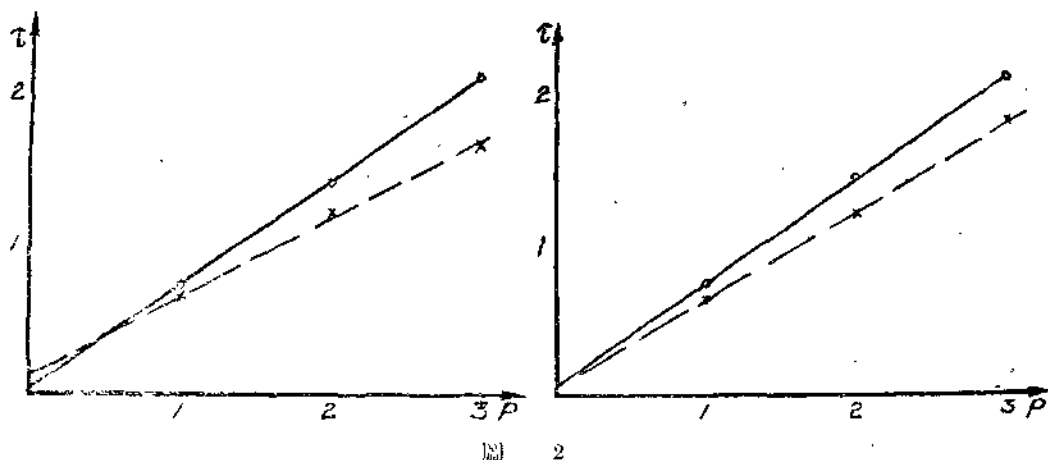


图 2

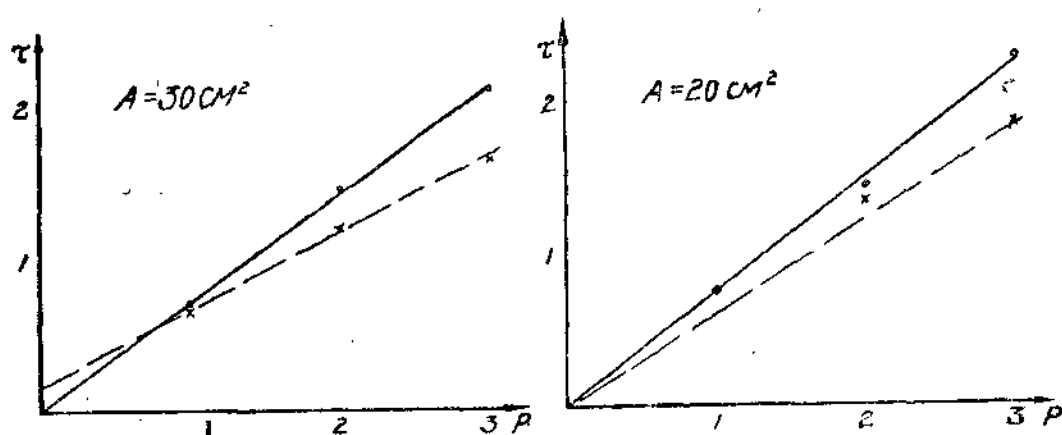


圖 3

数值都没有一定的规律。部分的試驗結果如圖 2 和圖 3 所示。

圖 2 是用靜壓制成的兩組相同試样的試驗結果。兩組試驗的水平剪应力增加的規定略有不同。左圖結果是按方法 I 增加剪应力，而右圖結果是按方法 II 進行（方法的說明和影響見第（三）節）。圖中實線和圓點所表示的結果是以完全剪壞作為終結標準，而×和虛線是表示以 2 公厘剪變形為終結標準時所得結果。前者所得結果非常相近，而後者所得結果沒有規律，在其他試驗結果中也有這種現象。在左圖中，由於採用第二種規定，所得內摩擦角雖然減小，但 C 值有所增加。這樣，在實際應用中可能偏於不安全。

圖 3 是液限狀態的 B 號土在兩種不同面積的剪切箱中所得的試驗結果。所用符號與圖 2 相同。從試驗結果可見，以 2 公厘剪變形作為終結標準時，所得結果是不完全可靠的。液限狀態土的剪切曲線應通過原點，而後者顯示出不同的結果。

（三）水平荷重增加的規定

現有資料中，關於在慢剪中增加水平荷重的等級的規定各自不同，因此各試驗室所採用的方法也不統一。目前最普遍的規定有三種：

方法 I：開始剪切時，水平荷重每級的增加為該試驗垂直荷重的 10%；待變形顯著增加時，將下一級增加的水平荷重減小到垂直荷重的 5%，直到試驗終了〔1〕。

方法 II：第一個水平荷重為垂直荷重的 10%，第二個增加的水平荷重減小為垂直荷重的 5%，以後保持不變，待接近於破壞時，將每級增加的水平荷重減小為垂直荷重的 2～3%。

在做以後的土樣試驗時，即在較大的垂直荷重下做試驗時，第一個水平荷重採用為前一次試驗所得最終強度的 60%，第二個增加的水平荷重仍令其等於該試驗垂直荷重的 5%。以後相同〔2〕。

方法 III：每級水平荷重增加程序全等於該試驗垂直荷重的 5%，直到試樣接近破壞時，再減小到該試驗垂直荷重的 2～3%〔6〕。

為了進行比較試驗，將上述三種土在液限和壓實或夯實後的狀態下用三種方法進行試

驗。試驗結果中的一部分資料列於下表以資比較。表中的組別一項是試驗室工作編號。抗剪強度的單位是每平方公分的公斤數值。

土種類	組別	垂直壓力	開始含水率	開始隙比	抗剪強度	土的狀態	試驗方法
白 粘 土	(I)	1	23.8	0.71	0.45	夯實到土的最佳密度的90%，開始含水率略大於最佳含水率。 浸水飽和後進行慢剪。	III
		2	24.2	0.715	0.8		
		3	24.8	0.722	1.335		
	(II)	1	23.8	2.711	0.475		II
		2	—	—	0.825		
		3	24.6	0.718	1.175		
	(IV)	1	22.7	0.672	0.5*	土在液限狀態下制樣，浸水飽和後進行慢剪。	I
		2	23.8	0.70	0.8		
		3	24.4	0.702	1.125		
	(II)	1	38.1	1.075	0.325		III
		2	38.1	1.05	0.75		
		3	37.9	1.078	0.975		
	(I)	1	38.3	1.02	0.375		II
		2	38.9	1.035	0.725		
		3	39.5	1.05	0.885		
B 號 土	(IV)	1	17.6	0.628	0.75	靜壓到最佳密度的90%，開始含水率略大於最佳含水率。	III
		2	17.3	0.613	1.45		
		3	18.1	0.629	2.1		
	(III)	1	17.7	0.618	0.75*		II
		2	17.3	0.644	1.45		
		3	18.9	0.644	2.125		
	(V)	1	17.1	0.622	0.725		I
		2	17.9	0.632	1.4		
		3	18.3	0.623	2.1		
紅 粘 土	(V)	1	70.5	2.02	0.675	液限制樣，浸水飽和後進行慢剪。 含水量略偏低。	III
		2	71.3	2.02	1.25		
		3	69.0	2.0	1.8		
	(III)	1	70.0	2.01	0.675		II
		2	71.0	2.01	1.25		
		3	70.0	2.01	1.875		
		4	—	—	2.375		
	(VI)	1	70.5	1.985	0.675		I
		2	70.6	2.02	1.3		
		3	—	—	1.8		

※ 制樣時多打一次，故密度、強度偏高。

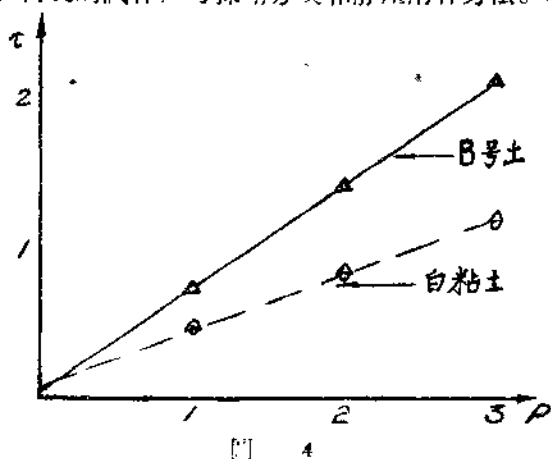
三種方法試驗時的觀測和穩定標準完全相同，主要的區別是加荷等級不同。從上述試驗結果的分析，三種規定所得結果非常接近。雖然在有些結果中，方法Ⅰ所得強度有降低的趨勢，但這種趨勢並不顯著。方法Ⅰ所需的總試驗時間較其他兩方法為少，但相差也不到一倍。這樣不顯著的時間差別對結果的影響不太大是可以理解的。

方法Ⅱ的規定，要根據前一次試驗所得強度計算第一級水平荷重的數值。這樣則增加工作程序，同時也受前次試驗結果準確性的影響。方法Ⅲ操作簡便，但試驗所需時間較方法Ⅰ為長，而方法Ⅰ在操作上亦甚為方便，並可縮短操作時間。所得結果偏於安全。

(四) 填土試樣的制备

現場試驗室過去在制备填土試樣時，系將土樣在標準夯實儀中分三層夯到要求密度，然後從中取出三個試樣進行剪切試驗。這種方法存在着一些問題。在夯實儀中分三層夯實的土樣，每層的密度不同，愈向下密度愈大，因此所取的三個試樣的密度也不相同。並且一組試件在不同的取樣程序下可得到不同的結果，如按照層次將上、中、下三層的試樣分別在 1、2 和 3 公斤/公分² 的垂直壓力下剪切；或者將同一組試件按下、中、上三層分別在 1、2 和 3 公斤/公分² 的垂直壓力下剪切，這樣得到的結果完全不同。後者得到的剪切曲綫較平緩，而前者所得曲綫陡且可能截縱座標於原點之下。

為了保證填土試樣的密度的一致，必須利用小型的容器，制备單層的、適宜於切取一個剪切試樣的土樣。為了制备同一含水量和密度的試樣，可採用夯實和靜壓兩種方法。根據試驗的結果，在較高的含水量下制备試樣時，兩種方法制成的試樣具有相同的力學性質。圖 4 所示為白粘土和 B 號土在最佳含水量下，打到最佳密度的 90% 容重時，浸水慢試的結果。圖中圓點表示夯實制樣的結果，而△符號表示靜壓制樣的結果。由此可見，兩種制樣方法所得結果，實際上沒有區別。但是，若在較低的含水量下制樣時，兩種方法制成土樣的結構不完全相同，經過放大鏡（20 余倍）下檢查，靜壓制成的土樣的邊緣部分，結構較不均勻。這是由於含水量少時，土不易攪勻，沿制樣筒四周及底部，土團粒在壓力下不易分散。而夯實時，落錘的作用可促使土團粒的分散，因此夯實制成的土樣的結構較為均勻。這種影響當試樣厚度增加時，更為顯著。



試樣制成後，內部水分的分佈不均勻，如果在霧室內放置數天後可促使水分的轉移，這樣可增加土的強度。因此試樣制成後即刻進行剪切試驗，所得結果偏於安全。至於填土的強度和時間的關係，填土的結構性等問題，對高填土的設計有顯著的影響有待於進一步的研究。

由於制樣筒壁的摩擦，影響到土樣的均勻性，故制成土樣的尺寸應比較大些，以便從中部切取剪切試樣；同時土樣厚度不宜過大，以免發生密度由上而下的減小現象。

(五)应力式与应变式的比較

应变式剪切仪在苏联的资料中很少提及，但國內許多試驗室在使用这种仪器。铁路系統由於我院停止生產应力式圓箱剪切仪，因此也在补充南京水利实验处設計的应变式剪切仪。在經常試驗中，兩種型式的設備能否同时应用是值得研究的。由於現用的应变式剪切仪沒有机动控制轉速的裝置，不宜於進行慢剪試驗，因此在比較兩種型式的試驗結果时，採用了固結快剪的方法。

南京水利实验处設計的应变剪切仪的面積为32.2公分²，試样高度为2.5公分；而我院設計的圓箱剪切仪的面積为20公分²，試样高度为1.5公分。前者是下箱滑动，剪切时不抬高上箱；而后者是上箱滑动，剪切时抬高上箱，結構型式差別甚大。因此直接用這兩种型式的仪器進行比較时，其中摻雜着許多复雜的因素。但是，在实际应用中，为了确定這兩种型式的仪器能否同时应用，直接進行比較試驗仍有它实际的意义，当然这样比較的結果不能說明应力式和应变式剪切仪間的基本問題。

比較試驗所用試样系在液限状态和在略高於最佳含水量下夯实到90%的最佳密度状态下的三种粘性土。圖5是液限状态下的三种土样的試驗結果。圖中圓点表示应力式所得的結果。×符号表示应变式所得的結果。圖6是夯实試样浸水固結快剪的試驗結果。其中圓点和实綫表示应力式所得的結果，×符号和虛綫表示应变式所得的結果。

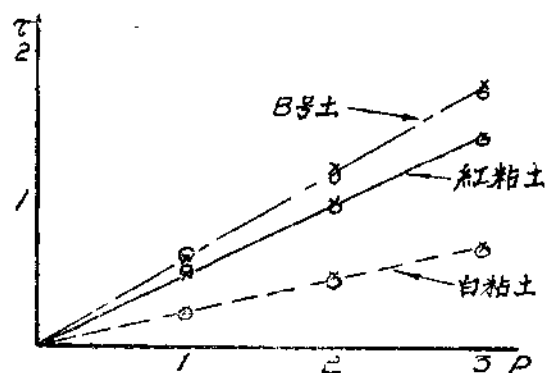


圖 5

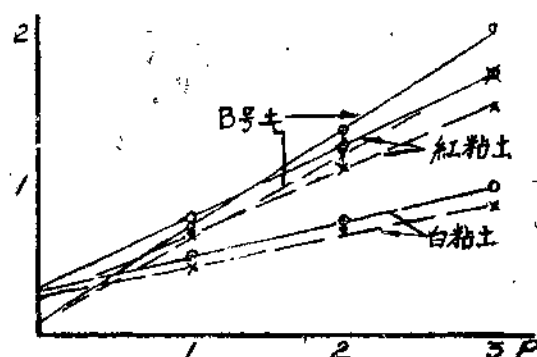


圖 6

应变式試驗的标准是採用每10秒鐘推進0.2公厘，应力式是每15秒鐘加一級水平荷重，使試驗在3~5分鐘內結束，每級荷重等於該試驗垂直荷重的5%。試驗終結时，以总的水平荷重減去最前一級荷重的一半作为計算強度。

从試驗結果可知：對於液限状态的土样，兩種型式的設備所得結果几乎相同；但對於夯实后的土样，則应力式所得強度比应变式高。这种現象和南京水利实验处1954年的报告中的数据[5]相同。南实处报告中提到应力式下盒固定，拉上盒和应变式兩種仪器所得到的土的C和φ值非常相近（試样的面積和厚度相同）。但从它的原始資料中可知，所有应力式的仪器所得的各点強度都較之应变式为高（对夯实土）。根据我們的和南实处的試驗数据的分析，当土的強度愈大时，兩種仪器間的差別愈大。例如，南实处的报告中，用同一

种土，在不同的含水量下用相同下击次数制成試样比較，当含水量愈小时，强度愈大，則两种仪器間的差別愈顯著。我們曾用三种不同的土比較，从圖 6 中也可看出，强度愈大的土，两种仪器間的差別愈顯著。圖 6 中各組試驗所得抗剪强度參变数 C 和 ϕ 的数值列於下表。

土 类	等 应 力 控 制		等 应 变 控 制	
	C	ϕ	C	ϕ
白 粘 土	0.3	$12^{\circ}41'$	0.25	$11^{\circ}19'$
紅 粘 土	0.3	$25^{\circ}24'$	0.235	$21^{\circ}02'$
B 号 土	0.1	32°	0.075	$28^{\circ}49'$

在進行等应力固結快剪时，有的土当水平荷重增加到一定程度时，水平測微計轉动甚快。此时，如果停止增加水平荷重，則剪变形繼續相当時間（数十秒鐘至一、二分鐘）后，試样即完全剪坏。但是，若当水平測微計轉动变快时，繼續按每15秒鐘增加水平荷重，則終結强度顯著增加。这种現象的發生主要是由於粘性土具有一定的塑性变形的性質，因此試样的剪坏不是突然的出現，而是在剪变形發展到一定程度时然后發生完全破坏的現象。

上述現象对試驗結果影响的程度，可能和土的剪变形穩定的情况有关。B号土在增加每級水平荷重（慢剪）时，剪变形的数值虽然較小，但延續的時間較長，在固結快剪中，上述現象的影响也大；相反地，白粘土和紅粘土剪变形虽然大但穩定得較快，因而这种現象的影响也小。

同时，在等应力的試驗中，B号土的固結快剪和慢剪所得的强度非常相近。这也可能是由於它的剪变形特性的影响造成。

根据以上所述的情况，可以得到初步結論：在固結快剪时，等应力試驗的結果比等应变为大。两种仪器所得結果的差別，不單純是受仪器本身和試驗方法的影响，而且和土的种类，土的状态有关。但是，估計这种影响在慢剪中將是不顯著的。

(六) 結 論

- (1) 在經常試驗中，应采用正常压密法來控制試样的密度。
- (2) 慢剪时，应以試样完全剪坏作为試驗終結的标准，以剪变形超过 2 公厘作为終結标准的規定，將引起試驗結果的不規律性。
- (3) 根据三种增加水平荷重規定比較的結果，沒有顯著的差別。
- (4) 固結快剪时，等应力試驗的結果略大於等应变試驗的結果。这种差別不單純是受仪器本身和試驗方法的影响，而且和土的种类、状态有关系。但是估計这种影响在慢剪中將是不顯著的。
- (5) 等应力控制固結快剪时，水平荷重可均等的增加，当水平測微計轉动增快时，应停止加水平荷重，觀測試样的变形，如果变形顯著变慢或停止时，再繼續增加荷重。

参 考 文 献

- [1] В.Д. Ломтадзе, Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов, 1952.
- [2] Временная инструкция по определению сопротивления связных грунтов Сдвигу. Завод "Буровая техника" 1955.
- [3] Механика грунтов. цытович.
- [4] Н.М. Герсевич. Теоретические основы механики грунтов. 1948.
- [5] 研究試驗報告彙編, 南京水利实验处, 1954.
- [6] 土工試驗操作規程試行草案, 南京水利实验处.
- [7] M.I.T. Soil testing for engineers, 1951.
- [8] E.S. Baner. Structure of disturbed soil. 2nd proc. Int. Conf. Soil mech., 1948.
- [9] K. Terzaghi, The shear resistance of saturated soils and the angle between the planes of shear, 1st Proc. Int. Conf. Soil. Mech., 1936.