

黄土資料

第三輯

民鐵道出版社

黃 土 資 料

第 三 輯



人 民 鐵 道 出 版 社

一 九 五 九 年 · 北 京

本輯的五篇研究試驗報告，是由科學規劃委員會建築組、黃土（包括類黃土）工程性質研究小組整理的。

本書可供土工方面的科學研究人員和高等學校有關師生及現場工作人員作參考用。



黃 土 資 料

第 三 輯

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010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）

書號1318 開本850×1168 $\frac{1}{2}$ 印張4 插頁3 字數97千

1959年4月第1版

1959年4月第1版第1次印刷

印數0,001—1,900冊

統一書號：15043·907 定價（8）0.49元

目 录

1. 在振动作用下黃土的抗剪强度..... 1
2. 黃土顆粒分析中土壤处理方法的研究..... 7
3. 由地基加载試驗研究兰州台地淺层黃土的变形.....19
4. 黃土的某些工程性質的研究.....90
5. 黃土地基加固施工113

在振动作用下黃土的抗剪强度

錢家欢 姜 朴

提 要

本文首先介紹在振动作用下測定黃土抗剪强度的一种使用簡捷的仪器——无側限压縮式。应用这种仪器，測定了西北諸省黃土（原狀的与重塑的）在五种振动加速下的无側限抗压强度。个别重塑土样也測定了浸水时的强度。

实验結果与理論計算大致符合，因此作者对于各种振动加速度时黃土土工的稳定計算，提出无側限抗压强度折減的图解方法。更由于黃土的应力与变形的直線关系，又提出根据无側限抗压强度决定凝聚力与內摩擦角的方法。

（一）問題的意义

我国西北黃土遍地，如何利用当地黃土作为建筑物地基或土壩及路堤材料，是今后西北經濟建設中一項重要的研究工作。但是西北大部属地震区域，而且土工建筑物或地基受到爆炸、車輛来往、机器运轉、打桩等振动作用也是难免的，因此研究黃土在振动作用下的抗剪强度，对于計算振动时地基及土坡的稳定以及土压力的大小，具有实际的意义。

（二）仪器介紹

由于直接剪力仪水平荷載不能振动，作者利用手提式无側限压縮仪裝于振动台上，使垂直荷載振动。这样，破裂面上的正交应力及剪应力都处于振动状态，所得結果也正是振动状态时的凝聚力与內摩擦角。为了避免无側限压縮仪中彈簧受到振动的影

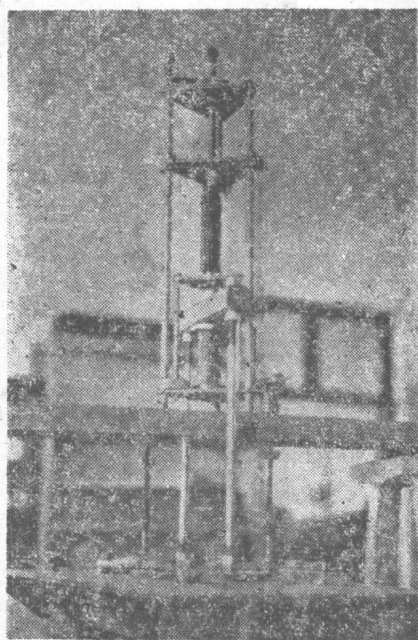


图 1 (a)

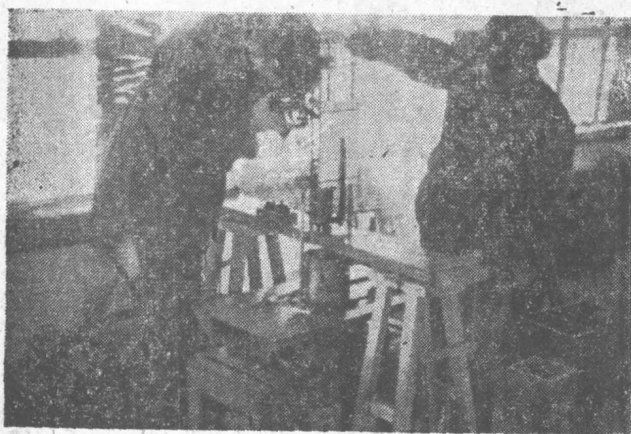


图 1 (b)

图 1 (a) 是仪器的侧面图，土样置于正中，最下面是振动台。

图 1 (b) 是仪器的正面图，可以很清楚看到自动记录牌，记录应力与变形的关系线，左立者正转动摇柄，使压力增加，右立者正以测振仪测振幅与频率。

响，尽可能采用刚度较大的弹簧。振动台为苏联制造，频率每秒50轉，振幅自 $0.03 \sim 0.22m$ ，所以振动加速度可以变换，测振动频率与振幅的是测振仪 (Tastograph)，德意志民主共和国出品。

(三) 試驗方法和結果

所用圆柱体土样的大小，不論原状或重塑土样，直径为 $3.8cm$ ，高 $9cm$ 。图2(a)右上角为試驗前的土样，其余均为压裂后的土样。重塑土样加水至含水量20%左右（接近于一般黃土的最优含水量），在模內以一定規格分三层击实，使土样上中下三部容重都相等，而約等于 $2.02gm/cm^3$ 。

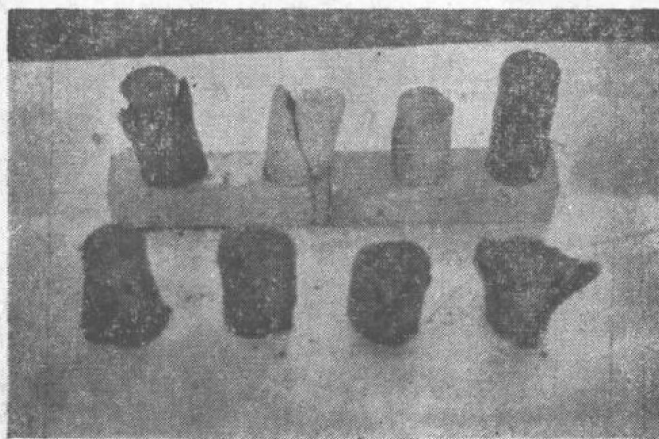


图 2 (a)

土样装好后，不論靜止或振动荷載；搖柄均以每10秒一轉的速率旋轉，使垂直荷載增加，在六、七分鐘內使土样断裂。試驗結果繪于图3上，其中 $\Delta q_u = (q_u)_{st} - (q_u)_{ar}$ 。 $(q_u)_{st}$ 和 $(q_u)_{ar}$ 如为同一土样在靜止及振动状态下的无側限抗压强度。

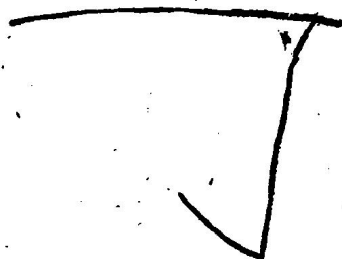


图2(b) 黃土土样在压裂前
应力与变形成直線关系

(四) 理論計算

根据彈性理論^[1]，一个等截面柱体的縱向振動微分方程是：

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (1)$$

上式符号为大家所熟知者，其位移解答：

$$u = A \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad (2)$$

式中 A 为振幅； T 为週期； L 为波长，等于 $T \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ 。最大振動应力可近似地以下法求得：

$$\sigma_x = E \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{2\pi AE}{L} \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

当 $x = 0$ ，， $t = 0$ ，

$$(\sigma_x)_{\max} = \frac{2\pi AE}{L} = \frac{2\pi AE}{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}$$

上式中 $\rho = 0.002 \text{ kg/cm}^3$ ， $T = \frac{1}{50}$ 秒，

$$(\sigma_x)_{\max} = 14A \sqrt{E} \quad (3)$$

因此，当以不同的振幅值 A 代入上式，即得图 3 的理論曲綫。这些曲綫与試驗結果相比較，即可得到 $(\sigma_x)_{\max} = \Delta q_u$ 的假定，而略偏于安全方面。利用公式 (3)，还可以計算振動台振動加速度范围以外的振動应力。

(五) 实用建議及举例

在受振区域計算地基及土坡稳定或計算土压力时，只需将黃土土样做靜止的无側限压縮試驗，得到 $(q_u)_{st}$ 及 E_{st} 。根据以上試驗的統計結果，原状土样在各种振動加速度下的 E 約等于 $0.5E_{st}$ ，重塑土約等于 $0.8E_{st}$ 。再按照振動的加速度及振動时的 E 值自

图3的理論曲線求出 Δq_u ，故振动时的无側限抗压强度 $(q_u)_{ar} = (q_u)_{st} - \Delta q_u$

由于黃土在破裂前应力与变形成直綫关系，故根据所得的无側限抗压强度值， $(q_u)_{st}$ 或 $(q_u)_{ar}$ ，都可以准确求得凝聚力 c 与內摩擦角 φ ，其原理如下：

图4(a)中粗实綫表示試驗前土样，粗虚綫代表破裂时的土样，而細虚綫表示各破裂面，現將abc放大成图4(b)。

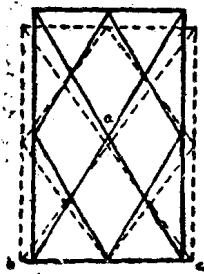


图 4(a)

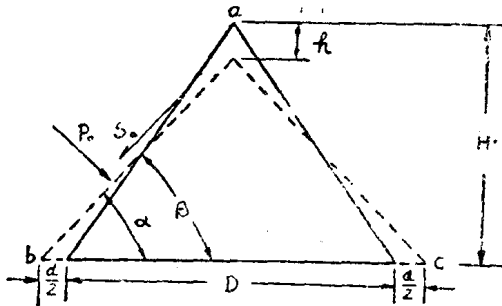


图 4(b)

根据图4(b)諸符号，破裂面的傾角 α 可以下式表示：

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{H-h}{\frac{D}{2} + \frac{d}{2}} = \frac{2H(1-\varepsilon)}{D+d}, \quad (4)$$

其中垂直变形 $\varepsilon = \frac{h}{H}$ ，上式也可写成

$$H = \frac{(D+d) \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{2(1-\varepsilon)}. \quad (5)$$

再根据图4(b)，破裂面在試驗前的傾角为 β ，則

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{\frac{D}{2}} = \frac{2H}{D} = \frac{(D+d) \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{(1-\varepsilon)D}, \quad (6)$$

剪应变

$$\gamma = 2(\beta - \alpha). \quad (7)$$

設 p_0 和 s_0 各为破裂面上的正交应力与剪应力, E 和 μ 各为彈性壓縮模数及剪力模数, ν 为泊桑比, 則

$$\gamma = \frac{s_0}{\mu} = \frac{2(1+\nu)s_0}{E}, \quad (8)$$

从(7)与(8)消去 γ , 得

$$s_0 = \frac{(\beta - \alpha)E}{1 + \nu}, \quad (9)$$

上式中泊桑比可借下式求得

$$\nu = \frac{\frac{d}{D}}{\varepsilon} = \frac{d}{D\varepsilon}. \quad (10)$$

E 可自应力与应变曲綫的平均坡度求得。

故只要先假定 φ 值, 即得 α 角, 自式(6)求得 β , 再从式(9)得破裂面上的剪应力 s_0 , 这数值应该与根据慕尔圓所得公式:

$$s_0 = \frac{1}{2}q_u \sin 2\alpha \quad (11)$$

相等, 如果不等, 再假定 φ 为其他数值, 重算如上, 至相等为止(作者曾利用太原黃土作三軸剪力試驗及E. De Beer論文[2]中的数据, 証明了这方法在实用上已足够准确)。

今将太原重塑土在靜止时的 q_u 为例: $(q_u)_{st} = 1.33 \text{ kg/cm}^2$, $E = 49.7 \text{ kg/cm}^2$, $\varepsilon = 0.038$, 破裂时断面面积 $A_a = 11.7 \text{ cm}^2$, $d = 0.06 \text{ cm}$, 試算后得 $\varphi = 26^\circ$, $c = 0.478 \text{ kg/cm}^2$ 。

如果遇到900cm/秒的振动加速度, 則根据振动时的 $E (= 0.8 \times 49.7 = 39.8 \text{ kg/cm}^2)$ 可自图3理論曲綫(5)找得: $\Delta q_u = 0.83 \text{ kg/cm}^2$, 所以:

$$(q_u)_{dy} = (q_u)_{st} - \Delta q_u = 1.53 - 0.83 = 0.70 \text{ kg/cm}^2.$$

振动土样的垂直变形 $\varepsilon = \frac{0.70}{39.8} = 0.0176$, 土样破裂时断面 $A_a =$

$$\frac{11.3}{1 - 0.0176} = 11.48 \text{ cm}^2, \quad d = 0.0250 \text{ cm}.$$

假定 $\varphi = 20^\circ$, 則 $\alpha = 55^\circ$, $\text{tg } \alpha = 1.428$ 。

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{3.825 \times 1.428}{(1 - 0.0176) \times 3.8} = 1.463, \quad \beta = 55^{\circ} 39',$$

$$s_0 = \frac{\frac{39}{60} \times \frac{\pi}{180} \times 39.8}{1.374} = 0.33 \text{ kg/cm}^2。$$

同时, $s_0 = \frac{1}{2} \times 0.70 \times \sin 2\alpha = 0.33 \text{ kg/cm}^2$, 故所假定的 $\varphi = 20^{\circ}$ 是对的, 于是:

$$c = \frac{q_u}{2 \operatorname{tg} \left(45^{\circ} + \frac{\varphi}{2} \right)} = \frac{0.70}{2 \times 1.428} = 0.245 \text{ kg/cm}^2。$$

最后必须指出, 本文所提出的方法也适用于黄土以外的其他种类的土, 只要土样在压裂前应力与变形成直线关系。

参 考 文 献

- [1] Timoshenko, S, 1955, *Vibration Problems in Engineering*, 299, Van Nostrand.
- [2] Beer, E. De, 1948, *Correlation between The Results of Cell-tests and Compression Tests. proc. of 2nd Int. Conf. on S.M. & F.* 1, 183.

黄土颗粒分析中土壤处理方法的研究

(一)

張 鴻 生

一、緒 言

黄土在我国分布面积很广, 尤其对广阔的华北平原和西北地区的黄土, 从未做过详细的调查与了解。近年来, 由于配合国家在黄土地区进行大规模基本建设的需要, 在国家建委和科学院的领导下, 自1956年开展了黄土工程性质的研究工作。

黄土颗粒分析中土壤处理方法的研究, 是黄土基本性质研究

的一部份，旨在于寻求一适合于黃土的顆粒分析方法，俾能对黃土的顆粒組成有一确切的了解，以及为黃土之矿物分析和化学分析准备条件。然而黃土本身性質复杂，在顆粒分析方面，既有的方法只能滿足一般工程土壤分析上的要求，对黃土基本性質的研究工作來說还是不够的。

在土壤顆粒分析工作中，决定分析結果准确与否的关键問題，是土壤处理方法。对同一土样采取不同的处理方法，所得的結果就迥然不同。因此，我們在进行黃土顆粒分析方法的研究工作中，以土壤的处理方法当作了主要課題。

二、土壤的处理方法

一般土壤中都含有或多或少的可溶性塩类，这些塩类由于有着胶結土粒的作用，所以影响土粒分散，其中尤以碳酸鈣的作用为显著。因此，在顆粒分析中用各种鈉塩或銨塩类化学藥品作分散剂，以取代土壤中的 Ca^{+} 或 Mg^{+} 等离子，使土壤达到分散。分散土壤除了用分散剂外，还須借助于煮沸^[1]或攪拌^[2]的方法进一步促使土壤分散。

处理土壤所用分散剂的作用如何，主要根据是它能否維持土悬液稳定，即最低能保持住土悬液在測定过程中不产生絮凝，使土顆粒呈高度分散状态。然而能否維持土悬液稳定的关键是分散剂的种类和用量，性質不同的土壤，所需分散剂的种类和用量就有所不同，否則，就难能保証土悬液稳定。所以不同类型的土壤，所用的分散剂的种类和用量是應該有所选择的，这点也是我們需要进行試驗与研究的。

在顆粒分析中的土壤处理方法，过去多用国外既有方法：

1) 对于一般粘性土壤的处理方法，有的用硅酸鈉或氢氧化鈉等作分散剂，加在土壤中制成土悬液，用攪拌器經過一定時間的攪拌即可用来試驗；有的用稀酸塩洗掉土壤中的鈣离子，然后用来試驗。

2) 对于黃土类土壤的处理方法，在一般工程土壤分析上，

多用苏联对大孔土的处理方法，即洗掉土壤中的易溶盐后，以氢氧化铵作分散剂，制成土悬液煮沸一小时，冷却后即可用来试验。

对于我国华北地区的黄土，中国科学院土壤研究所夏家洪、熊毅等先生曾进行过研究与报导〔3〕，提出了偏磷酸钠是石灰性土壤机械分析的良好分散剂，这个经验非常可贵，被我们吸收在此项研究工作中了。

根据国内外既有经验，为了找到适合于我国黄土颗粒分析的土壤处理方法，我们选用了柠檬酸钠，偏磷酸钠，磷酸氢二钠，草酸钠，氢氧化钠，氢氧化铵计六种分散剂，以及搅拌〔1〕与煮沸〔2〕二种辅助分散方法，对西北地区六种黄土，按照下述步骤与方法进行了试验与研究。

1. 土样的采集和制备

土样是采自西北地区武功、陕西、陕北等地的六种黄土，风干后将土块粉碎，按照一般土壤检验方法〔4〕进行一般物理性质的试验，并将每种土样分割成每份30克的若干份，同时测得其吸着含水量，供作试验用的试样。

2. 搅拌法加分散剂的分散效果试验

每种土壤取数份，分别放在1000毫升烧杯中，加入浓度不同的柠檬酸钠（按试验时所需土悬液的全容积计算）作分散剂，并增添蒸馏水至400毫升处，为了辅助土粒分散，在烧杯中投入粒径0.5~1.0公厘的净砂5克，以每分钟约1000转的搅拌器，分别搅拌0，10，30，60分钟，然后将土悬液移置在1000毫升的量筒中，在恒温槽中恒温后，按比重计法〔3〕进行颗粒分析（见图1）。

用搅拌法分散土壤，除了所加分散剂能取代出一定量的 Ca^{++} 、 Mg^{++} 离子外，由于搅拌浆和净砂在土悬液中对土粒有撞击作用，所以 Ca^{++} 、 Mg^{++} 离子也将会因搅拌时间之不同，不同程度的被分

离出来游离在土悬液中，促使土悬液产生絮凝，为了清楚这一问题，用颗粒分析后的澄清土悬液，进行了钙含量的测定（见图2）。

3. 煮沸法加分散剂的分散效果试验

煮沸法是对土悬液加热煮沸，促使土团加速分散的一种方法。为了初步了解土壤煮沸分散所需时间，以及分散剂之加入时间，事先曾分别的进行了试验（见表2及图3），结果说明煮沸30分钟土壤即可分散，分散剂在煮沸前加入分散效果较好。

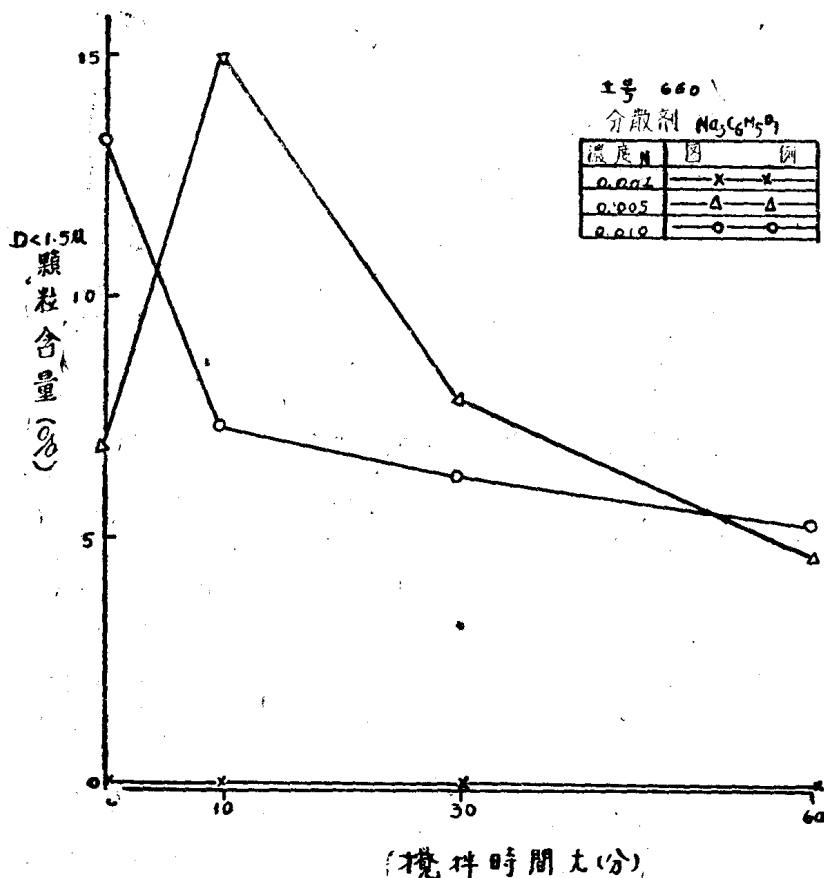


图1 不同浓度不同搅拌时间分散效果的比较

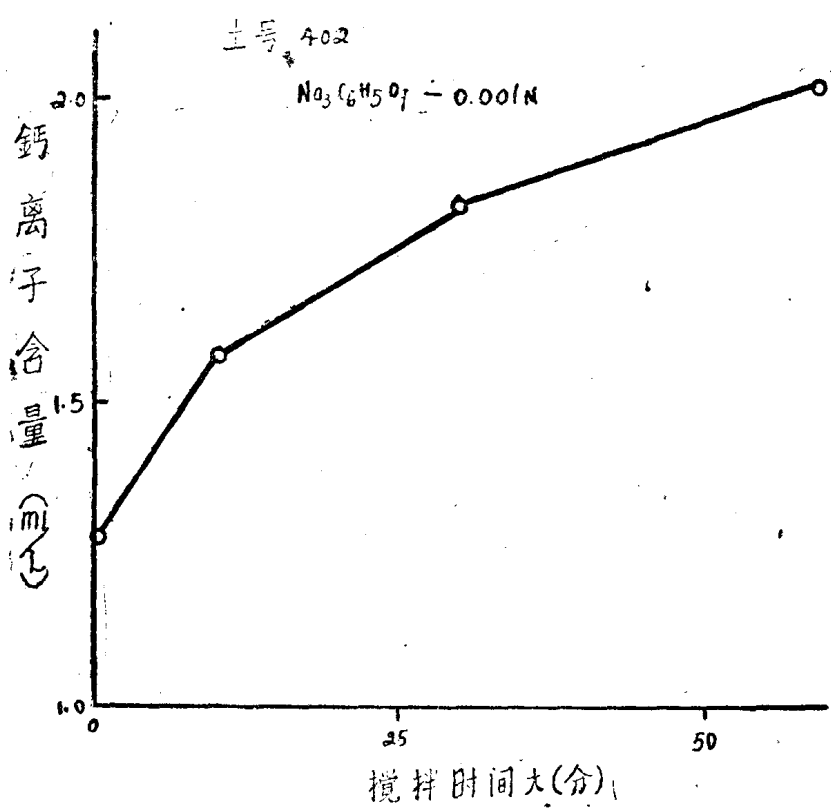


图2 搅拌时间与钙离子含量的关系

根据上述结果，每种土壤取数份，分别放在 500 毫升烧瓶中，进行浸水（加100毫升蒸馏水）与双氧水处理（浓度 30 % 的 H_2O_2 共100毫升分数次加入），经过一昼夜的浸润或氧化。为使双氧水处理的土壤中之有机质彻底氧化，加热煮沸30分钟。将浸水的与双氧水处理后的土悬液中，分别加入浓度不同的各种分散剂（按试验时所需土悬液全容积计算），然后按比重计法进行颗粒分析（见图4）。

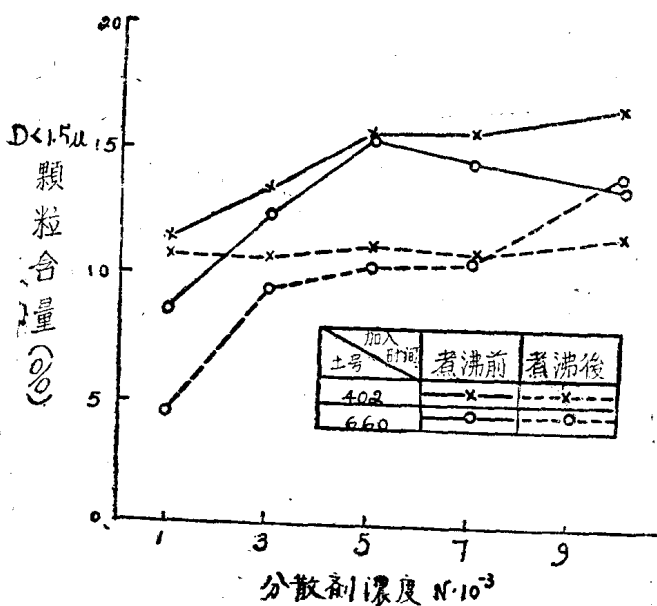


图3 煮沸前后加分散剂分散效果的比较

三、試驗結果

1. 土样采集地点及一般物理性質試驗結果
2. 攪拌法加分散剂的試驗結果

土壤之一般物理性質

表1

土样 编号	采集地点	采取 深度 (公尺)	顆粒組成(按洗去易溶塩加氨水煮沸法)						比重	液性 界限 (%)	塑性 界限 (%)	塑性 指數
			粒 徑 (公厘)									
			> 0.1	0.1~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.0015	< 0.0015				
616	陝北長州 曹家渠		0.7	27.1	57.7	5.4	2.8	6.3	2.74	25.0	22.2	2.8
612	陝西榆林 蘆草溝水庫		1.6	32.4	52.4	5.3	3.9	4.4	2.71	25.4	21.2	4.2
660	陝北長州 曹家渠		0.7	13.0	54.6	12.9	11.8	7.0	2.72	32.0	16.6	15.4
1365	武家得 灣石崖	3.0~ 3.5	0.5	8.0	52.5	17.9	12.3	8.8	2.71	33.3	17.3	16.0
1135	西北水工 試驗所內	5.0	0.7	7.1	43.7	18.7	15.9	14.1	2.76	32.1	16.9	15.2
252	青島嶗 山莊		0.3	6.7	37.0	21.8	17.0	17.2	—	—	—	—

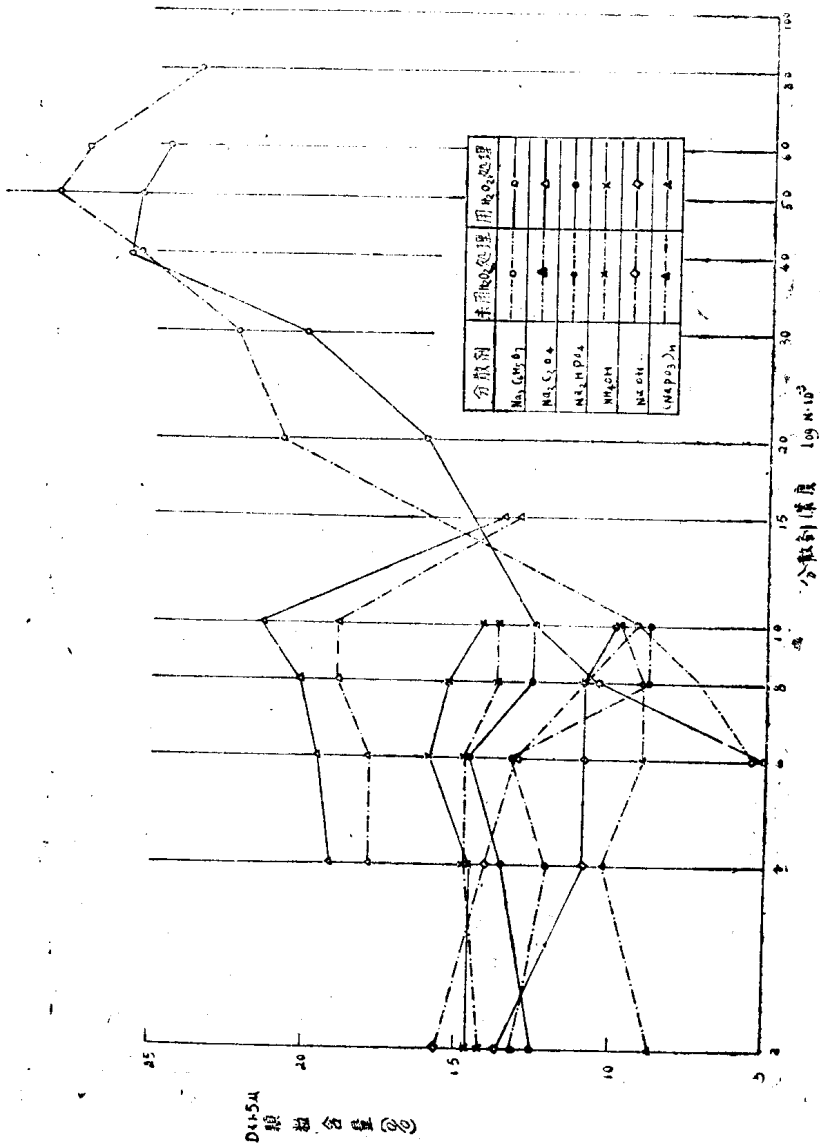


图 4 不同分散剂不同浓度的分散效果比较