

010

58.11

中国科学院綜合考察委員会資料

編 号:

密 級:

預先浸水法
處理黃土壩基濕陷問題研究

陳以健

江苏工业学院图书馆
藏书章

1958年11月定西。

前言

古城水庫埧軸綫右端，洮河二級台地上，为一厚約 $15\sim 17^M$ 之上更新統冲积黃土，其下为一厚約 $15\sim 2^M$ 之冲积卵石层。据試驗室此段黃土初步研究結果，其物理、化学、力学性質示於下表：

显然，从以上資料得知：此段黃土多系亚砂土，孔隙度高，碳酸盐含量高，透水性强，遇水之湿陷量极大。若不加处理，作为埧基时，工程之稳定性很难保証，极易发生湿陷，滲漏，潛蝕等作用，导致埧身整体性破坏。

为了保証工程之稳定性，若将此段黃土挖掉重新夯实，則所要挖之土方量相当浩大。为了寻求在技术上可能、經濟而合理，並能保証工程稳定性之处理方案，我們对此段黃土进行室內及野外之研究試驗工作。

湿陷之所以发生，乃是由于原状黃土含水量过低，在其生成过程中土处於未压密状态所致。此区黃土孔隙度常在 50% 以上，水庫筑成蓄水期間，土之湿度增加，其結構粘聚力降低，土本身結構联結遭到破坏，在土本身及建筑物載荷作用下，土受到压密作用而产生湿陷現象。为此，可在施工前使土层遇先浸湿，施工期間，土层相应即被压密。工程竣工后，可免除了湿陷之危險，这是本次試驗研究工作的基本根据。

据此，我們对此段黃土进行了不同深度之浸水槽及浸水孔之浸潤範圍，浸水速度研究。檢查浸水效果及湿陷性採用野外載荷試驗来进行。

参加此次試驗工作的有陈以健、叶綱綜、趙玉珍、刘永福、王寿海及隴西工区民工四十多名。整个試驗工作是在孙光忠同志指导下进行的。

由于時間急迫，及工作人員之水平不高，所取得之資料是不够全面及完整的。加上野外条件簡陋，試驗誤差不可避免，所提供之資料仅可作为初步之参考。

(一) 所获得的一些資料

I 浸水范围及速度：

为了使土层在施工前預先浸湿，必須在土层中利用浸水槽或浸水孔对土进行浸湿。浸水槽及浸水孔应选择大之深度为合适？浸水時間应为几天？各槽、孔之間距採用多大为宜？为了解答以上諸問題，我們进行了分别为1、3、5、10公尺深之浸水孔及长8~10公尺，寬1公尺深度分别为0.5、1、2公尺之浸水槽七天或十天之浸水試驗。

不同深度下土层浸水前，浸水后含水量是用洛阳铲或土鉗取出之土求得。浸水后每隔24小时，在垂直浸水槽以及浸水孔为园心之半徑剖面綫上每隔500mm（指土层深度）取土样一次求其含水量。因此段黃土天然含水量在7~12%，故当含水量大于20%时，即认为已受水之浸潤，各槽、孔之浸潤范围过程綫即是根据此而求得的。

由於黃土中大孔之存在，及土层之透水性不是均質的，垂直浸水槽之各个剖面綫上，浸潤范围及速度亦有所不同。如第一天在第I号剖面綫上打鉗探知水与已浸潤至距槽沿3^M处。但第二天在第II号剖面綫上打鉗，在距槽沿3^M处不一定发现土被水所浸潤。因为水之浸潤前鋒不是象我們所理想的与槽沿成平行状之直綫，而是一条不規則之曲綫。这种現象，給我們分析資料带来一定之困难。

由於試驗場黃土厚度仅为2~8^M，水极多的通过排水性良好之卵石层漏掉。故土层受浸潤后之含水量均在33%以下，大部份在20~28%

之間。

現將各浸水孔，浸水槽之試驗情況分述於后：

A 1、2、3、4号浸水孔

浸水孔1、2、3、4号佈置在二級台地中部。土层厚为 $15\sim 17^M$ ，土質为亚砂土。孔直径为 30 cm ，用洛阳錘造成。孔內填以細河砂至孔口 $20\sim 30\text{ cm}$ 处。各孔灌水后，滲漏速度极慢。第二天在距孔边 1^M 打鉆探知；土层仍未受水之浸潤。至第三天，深为 $1、5、10^M$ 之1、3、4号孔水浸至距孔边 1^M 处，而深为 3^M 之2号孔仍未滲到。各孔之浸潤范围及速度見表(II)，第四天，因水庫領流槽之开挖，試驗停止。

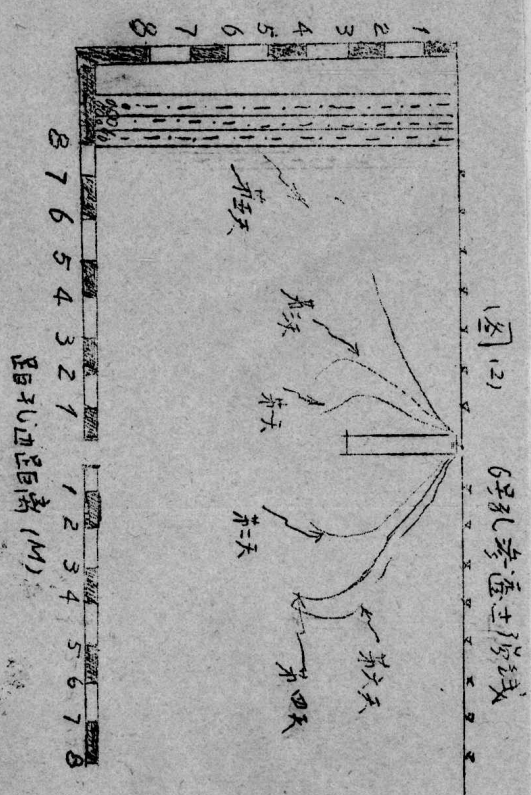
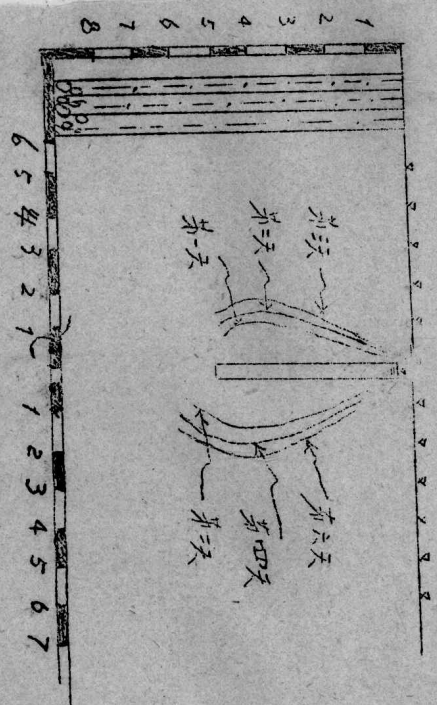
1、2、3、4号孔浸潤范围及速度 表2

孔号	1			2			3			4		
孔深	1^M			3^M			5^M			10^M		
土层厚	25^M			25^M			25^M			25^M		
浸潤范围	距孔边	深度	含水量	距孔边	深度	含水量	距孔边	深度	含水量	距孔边	深度	含水量
1	$<1^M$	—	—	$<1^M$	—	—	$<1^M$	—	—	1^M	1	18.8
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	1^M	0.5^M	19.8	—	—	—	1^M	1.5^M	18.8	1.5^M	0.5^M	19.8
备注	深度指取大浸潤范围土层下被水浸潤界綫											

各孔滲漏速度慢之原因；主要是在用洛阳打鉆时，孔壁原状土結構被破坏，被洛阳錘磨光，因之滲透性减少。孔內填的細河砂，对其透水速度也起到緩慢作用。

B 5、6号孔

5号孔深 5^M 。6号孔深 3^M 。土层厚度为 $6\sim 8^M$ ，土質为亚砂土，孔內不填任何物質。共灌水六昼夜，其浸范围及速度見图(1、2)



为了更明确的表示5、6号孔之浸潤情况，可看表(Ⅲ)

表Ⅲ							
孔号	5			6			
孔深	5 ^M			3 ^M			
土层	6~8 ^M			6~8 ^M			
浸天	距孔边	深度	含水量	距孔边	深度	含水量	
1	1 ^M	3.6 ^M	21.6 26.6	1 ^M	1.5 ^M	25.0 26.8	
2		1.5 ^M	18.2 25	3 ^M	3 ^M	19.0 24.4	
3	2 ^M	3.5 ^M	21.4 26.6	2-3 ^M			
4	1-2 ^M			4 ^M	3 ^M	18.0 26.0	
5				6 ^M	2 ^M	18.0 21.4	
6	2 ^M	3.5-4.5 ^M	19.4 25.2	5-6 ^M		18.0 20.8	
备注	深度指全表(2)						

从表上得知：6号孔比5号孔渗透范围大。此乃是由于6号孔灌水时孔壁受到水之冲刷日渐扩大，而5号孔灌水时，孔壁未受水冲刷破坏。

6号孔第五天打钻结果，钻孔有水冒出，说明此处土层下有一大孔洞漏水，故第六天渗透范围比第五天为少。

C A、B、C号浸水槽

A、B、C号浸水槽宽约为1^M，槽长8~10^M，槽深分别为0.5、1、2^M，槽内填以卵石料。A、B槽均填至槽边约20~30cm处，C号槽填至槽边1^M处，故浸水后发生槽边崩塌。

各浸水槽均布置在厚约2~4^M之黄土上，土质为亚砂土。A、B号浸水槽用压水机灌水7昼夜，水位常保持在槽沿5~10cm处。C号槽前7昼夜用人力排水，故至第三天，水才浸没槽内之卵石面。第七天改用压水机灌水，水位上升至槽沿20~30cm处。四小时后，槽壁即发

生崩塌現象，灌水共十晝夜。

由于試驗場土层厚度小，故各槽在灌水后 5~7 天，在河岸斜坡基岩頂部，卵石层中均有水向外湧出。此乃是水透过土层及卵石层往外滲漏之証明。

A、B、C 浸水槽之浸潤范围可見图 (8、4、5)

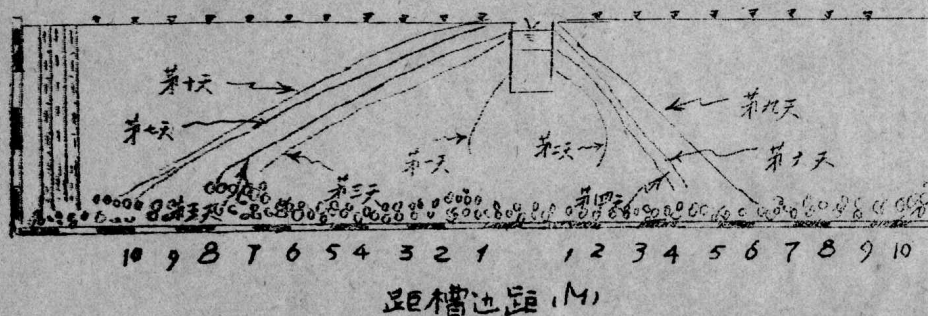
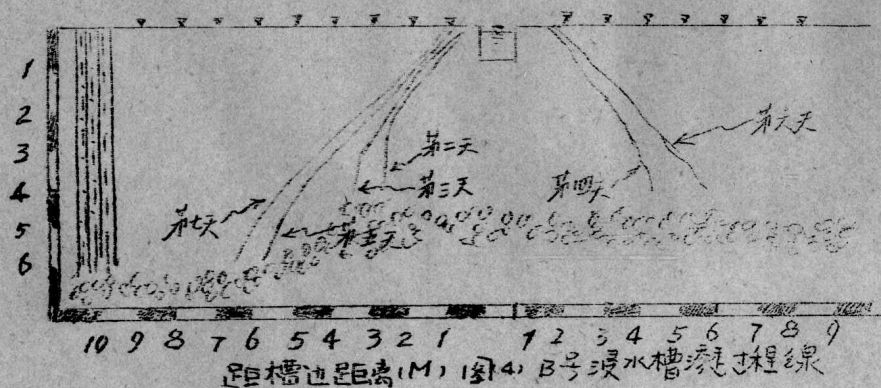
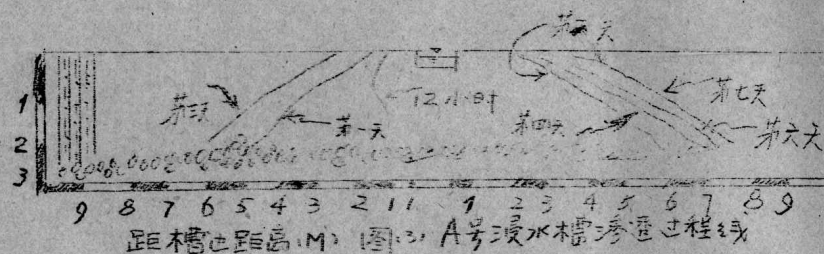


图5 C号浸水槽渗透过程线

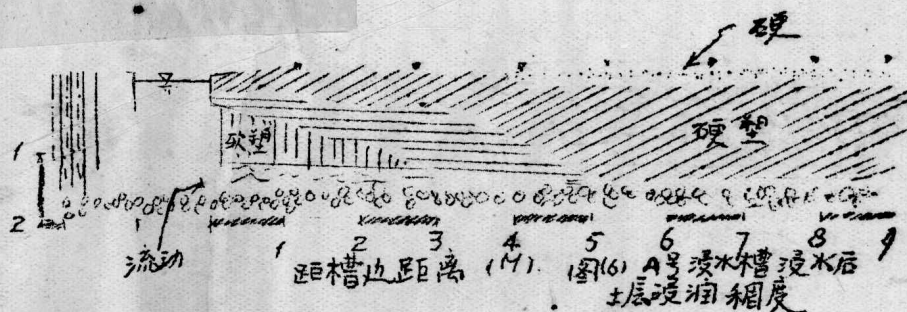
为了更明确的表示各浸水槽之浸潤情况，可看表（IV）

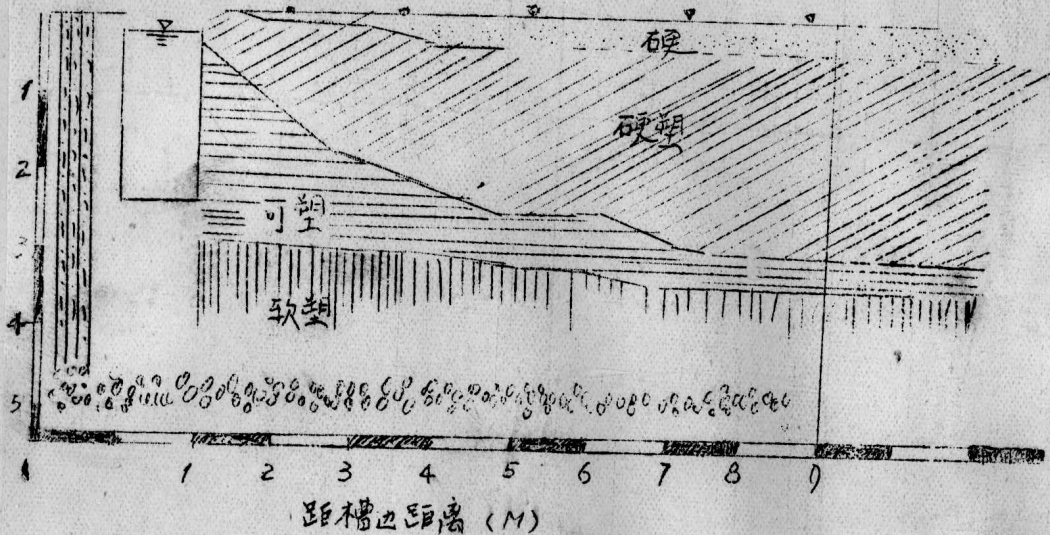
A B C 浸水槽浸潤范围及速度 表四

槽号	A			B			C		
槽深	0.5M			1M			2M		
土层厚	2-2.5M			4-5M			4-4.5M		
天	距槽边距离M	深度M	含水量	距槽边距离M	深度M	含水量	距槽边距离M	深度M	含水量
1	3						3	1	19.8
2		2	22-27	2	2	20.4-22	4+5		28.4
3	3-5			3	3.5	27	7	3.5	21-25.8
4	3-5						5-7		
5					4.5	22.6-27	9	4	19.4
6		2	21.8				5-9		24.2
7	6	2	18.2-21.4	6	5.5	24.3-26	10	4.5	17.6
备注	深度指最大浸潤范围土层下受水浸潤界线								

从以上試驗中得知 (一)水之滲漏量是随時間日漸變慢的。一般在第3-4天后有明显之變慢。(二)土层之厚度对浸潤范围有明显之影响；土层越厚，滲得越远。土层越薄，滲得越近。(三)由于水之毛細作用，土层表面浸潤范围在7天内可达1~25M。(四)毛細上升高度在7天内可达81cm。

浸水槽灌水结束后，在垂直浸水槽方向开挖探槽以实测土之浸潤程度。每隔1M作天然稠度試驗，其結果见图(8、9、10)。应该指出；由于开挖探槽之土方量很大，一般每一探槽均要挖2-3天。在此期間，土层之含水量已起變化，故所得之資料，稠度界限均偏小。





(图18) C号渡水槽浸水后土层湿润程度

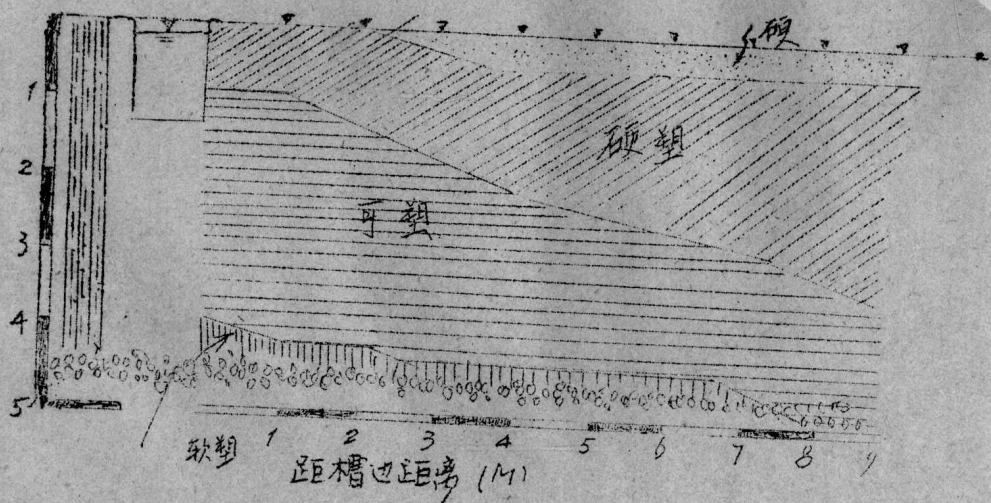


图7 B号渡水槽浸水后土层湿润程度

II. 自重湿陷观测

为了了解此段黄土在受水之浸润后，所发生之湿陷及膨胀等现象。在

浸水槽四週各剖面綫上，均預先釘上木椿，測定其相對高程。水槽灌水后，每隔 24 小时，对每一木椿均測一次高程，以观测土层表面之升降动态。

試驗場之黃土，干容重仅为 $\gamma_{14} \sim \gamma_{25}$ ，故湿陷极易发生。但因土层厚度仅为 $2 \sim 4.5^M$ ，故其湿陷量不大，一般在 $3 \sim 4 cm$ 。离槽沿 4^M 以外土层，甚至稍有膨脹上升之現象。

A、B号浸水槽之湿陷情况见图 (9、10)。C号浸水槽在前 7 天，因为水位过低，只有微量湿陷。在第八天因水位上升，槽壁发生大量之崩塌，水准测量已无法进行，故此資料缺

A、B号浸水槽湿陷量見于下表：

A、B号浸水槽的湿陷量

浸水 槽号	A 土层厚 $2 \sim 2.5^M$ A-I 到 B			B 土层厚 $4 \sim 5^M$ B-II 到 C	
	最大	最小		最大	最小
1	-0.2	-0.6		2.6	-0.3
2	0.8	-0.5		3.8	-0.2
3	1.8	-0.6		4.8	0.2
4	2.4			4.6	0.3
5	3.2	-0.4		4.7	
6	3.6	-0.3		5.1	0.1
7	4.1	-0.1		-	-
备注	表列均為槽周 4^M 处 用湿陷量 4^M 处土层厚				

土层受水浸潤后所发生之湿陷，导致在槽週出現有平行於水槽沿半弧状裂縫，裂縫最远者离槽边 3^M 。

III 試驗室力学試驗資料

为了进一步了解此段黃土之湿陷問題，根据室內滲压試驗 16 个样品之分析，得知在 4 kg/cm^2 压力下之干容重一般可达 $1.42 \sim 1.54$ g/cm^3 ，中值为 1.47 g/cm^3 。 1 kg/cm^2 压力下单位沉降量一般为 $60 \sim 120 \text{ mm/m}$ ，中值为 70 mm/m 。 2 kg/cm^2 压力下单位沉降量一般为 $108 \sim 143 \text{ mm/m}$ ，中值为 128 mm/m 。 3 kg/cm^2 压力下单位沉降量一般为 $130 \sim 203 \text{ mm/m}$ ， 1.4 中值为 163 mm/m 。 4 kg/cm^2 压力下单位沉降量一般为 $154 \sim 233 \text{ mm/m}$ ，中值为 184 mm/m 。

(見图 1.1)。 $\circ$ 应当 kg/cm^2

指出：实验是在 0.5

下浸水的，浸水后

試样之含水量为

$33 \sim 35\%$

中值为 32%。

此段黃土因均系亞砂土，故其壓密作用極為迅速，一般在 1~2 內已完
成其壓密量 70~80%。全部穩定約需 2~4 小時。

以上資料告訴我們，

(一)此段黃土之壓密作用極為迅速，有利於我們所提出的邊施工邊壓密
方案，可使在工程竣工之同時，壓密作用也完成，從而保證工程之穩定性。

(二)此段黃土設其厚度為 $2\sim 8^M$ 時，則總下沉量在 $4kg/cm^2$ 壓力下為 $40\sim$
 136^m 。了解到這一點，在施工部署及組織工作中是有所幫助的。

IV 載荷試驗

此段黃土地基，填高為 20^M 。取填身填土容重為 $20g/cm^3$ ，則地基上受
到之最大載荷為 $4kg/cm^2$ 。本次載荷試驗就是為了檢查土層經過預先浸水後，
在相當於填之載荷作用下，其壓密程度若何？土之干容重起那些變化？

本次試驗所用之載荷板底面積為 $(50\times 50) 2500^2cm$ ，我們曾幾次
力圖加載至 $4kg/cm^2$ 時，均因載荷台不均勻下沿垮台而沒有作成，但可據土
力學公式：

$$S = KRF$$

S = 沉陷量

K = 比例係數

P = 壓力

F = 載荷板底面積

近似的求得在 $> 2kg/cm^2$ 壓力下或底面積 $> 2500^2cm$ 時此段黃土之沉
陷量。

式中 K 值，我們是用不同面積之載荷板所做的五次試驗結果求得（見
圖 12）

$$K = 0.618$$

載荷板下土沉陷量 表四

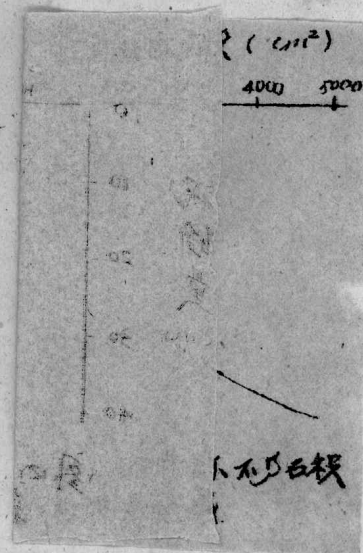
載荷	1 kg/cm ²	2 kg/cm ²	沉陷量
浸水前	2.1	10.3	沉陷量
浸水後	43	70.4	沉陷量

載荷試驗是按如下

方法进行的：

浸水槽停止灌水后，在距槽沿4~5^M处挖1正方形(3×3×3^M)之淺井深度約为50^{cm}，而后在清理干淨后之土表面按装上載荷台，加到預定之压力。(見照片)。
在2~4小时后，沉陷基本停止。此后在在淺井中預先挖好的填以卵石之排水沟中灌水，对土层进行进一步之浸潤，再記錄其沉陷情况，直至穩定为止，一般約为40小时左右。共作了1和2kg/cm²載荷試驗。

1和2kg/cm²載荷下，土之沉陷量見表(IV)



在2kg/cm²載荷下，土层之压密程度可見图(13)应当指出，所作之深度是不够的，在120^{cm}以下，土层仍受到压密作用。

从以上資料得知：在2kg/cm²載荷下，下沉量为704^{cm}，干容重(載荷板下)可达147。而試驗室中按土力学公式計算結果，下沉量为60^{cm}，干容重只达135~145，比野外試驗所得数据为小。此乃是由于試驗室受到仪器限制之故。

以上資料也告訴我們：

(1) 土层受浸水槽浸潤程度在离槽沿 4^M 范围以外，效果不显著。在这范围外，在 0.5 或 4^M 以上之土层，只受到輕微之浸潤，含水量均少於 20% 。因而在 2kg/cm^2 載荷下，下沉量仅为 10^{cm} ，而再次浸水时，含水量大於 24% 时，下沉量竟达 70^{cm} 。可知当土层含水量大部份大於 20% 时，土层才易於被压密。

(2) 此次試驗証明了：用預先浸潤土层法处理黃土坝基是可行的。但应保証土层受浸潤后土层含水量均应大於 20% ，在此前提下， 2kg/cm^2 載荷下，土之干容重已达 $\text{F}35\sim\text{F}47$ ， 4kg/cm^2 載荷下，試驗室資料指示干容重可达 $\text{F}42\sim\text{F}54$ ，而此段黃土正实試驗得最大干容重也只是 $\text{F}6\sim\text{F}7$ ，这已足够說明了：經過坝身載荷下之压密，工程之稳定性已有足够之保証。

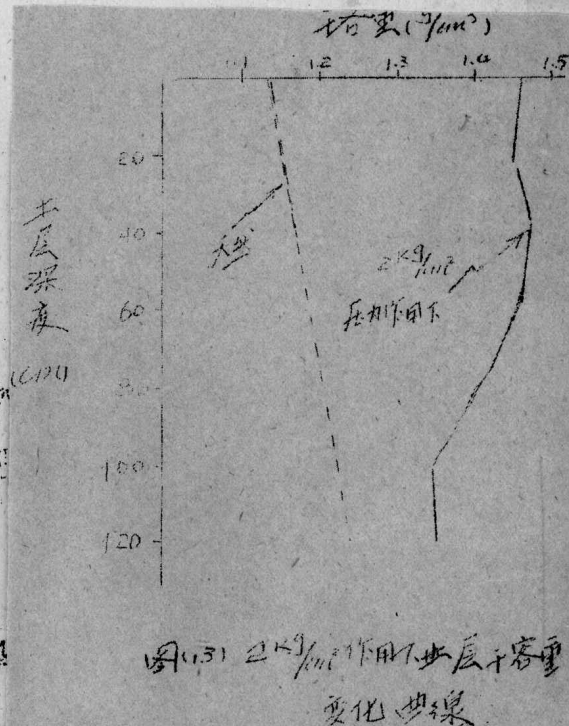
(二) 几点初步結論

根据以上几点資料分析，我們初步可以做出如下的結論：

(1) 填細河沙，由于限制了孔壁崩塌，浸水孔浸潤范围小，速度慢。不任何物質之浸水孔浸潤范围小，仅为 $4\sim5^M$ ，浸水槽之效果較好。

当土层厚度为 $4\sim5^M$ 时，槽的深度对浸水槽浸潤范围及速度影响不大。在此情況下，以槽深为 1^M 者好。

浸水槽之深度，可根据土层之厚度来拟定，可採取 $1:4$ 或 $1:5$ 之比例数。即土层厚 5^M 时浸水槽深可为 1^M 。土层厚 10^M 时，浸水槽深可为 10^M 。



(2)离浸水槽4^m範圍内土层效果较显著。因此浸水槽之間距可为7~8^m。

(3)浸水时间在3~5天内对土层有明显的浸潤作用。为了使土层受浸潤后含水量能达到20%以上，浸水时间可为15~20天。並应用土钻加强对被浸潤土层之探查，若大部份土层含水量仍小於20%，应适当延长灌水时间。

(4)为保证已浸潤之土层，在漫长的1~2个月施工期間，含水量不发生新的变化，避免土中水份在重力作用下往下或往外漏掉，保证土层常处于易於压密状态，可采取必要之防渗土墙措施。

(5)土层下之卵石层，在迎水面必須加上防渗保护层。因为在此层中夹有凸鏡体状之細河沙。卵石层为一良好之透水层，水库蓄水后，必将沿卵石层发生大量之滲漏及潜蝕現象。同时在庫水之水头压力下，水透过卵石层对坝基黃土将发生进一步之浸潤作用，对黃土地基有极大之危害。

(6)为防止浸水槽壁浸水后崩塌，影响浸水效果，应在槽内填以卵石料。为保证浸潤效果，水位应极力保持在槽沿20~30^{cm}处。为此，在可能条件下，灌水应配备强力之柴油动力抽水机。

—完—

1958年11月29日