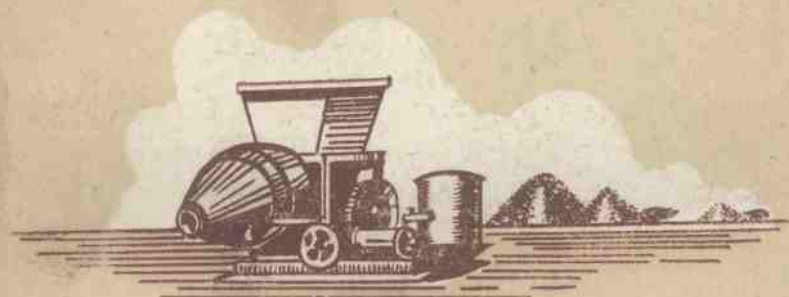


中小型水利工程 使用三合土的研究

山东省水利科学研究所編



山东人民出版社

中小型水利工程 使用三合土的研究

山东省水利科学研究所編

山东人民出版社

一九五九年·济南

中小型水利工程 使用三合土的研究

山东省水利科学研究所編

*

山东人民出版社出版(济南經9路勝利大街)

山东省書刊出版業營業許可証出001号

山东新华印刷厂印刷 山东省新华書店发行

*

書号: 3117

开本 787×1092毫米 1/32·印張 1 5/8·字數 25,000

1958年11月第1版 1958年11月第1次印刷

印数: 1—5,100

統一書号: 15099·90

定 价: (7) 0.17 元

前 言

三合土是利用石灰、粘土、沙子三种材料拌合夯实而成。几百年来，我省各地群众积累了用三合土兴修水工建筑物的丰富經驗，打破了历来被認為石灰不宜用于水工建筑的“理論”。

我們为了系統地总结群众利用三合土兴修水工建筑物的經驗，曾到使用三合土有經驗的濰坊市白浪河沿岸进行过調查研究，考查了各种类型的建筑物，訪問了老工人，并自現場采取試样作了檢驗。其后，又进行了有关三合土建筑性能及改善建筑性能的室內試驗。試驗結果，証明三合土是一种“多快好省”的建筑材料，若在其中掺加少量的混合材料，更能使其抗压、抗渗、抗冲、抗冻等性能大大改善，可以广泛地应用于各种中、小型水工建筑物。

制造三合土所用的材料，一般地区都有，可以就地取材，其工程造价仅为浆砌块石低标号混凝土的三分之一，因此，在水利建筑工程中应广泛使用这种材料，以节约水泥。

为了大力推广使用这种建筑材料，我們特将現場調查研究的情况及室內試驗的結果，并参照了外地的有关資料，写成这本小冊子，以供水利施工及有关研究人員参考。希望大

家在实际工作和研究試驗中，不断提出修正和补充意見。

山东省水利科学研究所

1959年11月

目 次

前 言

第一部分 三合土水工建筑物調查研究	1
一 对三合土水工建筑物現狀的調查	1
(一) 三合土水工建筑物的一般情况	1
(二) 东常寨三合土护面滾水土壩情况	1
(三) 三合土遭受破坏情况	6
二 用三合土修水工建筑物的方法的調查	7
(一) 各項材料的选择与要求	7
(二) 材料配合比例	8
(三) 材料的調制	9
(四) 夯 实	9
(五) 水下施工	11
(六) 养护注意事項	11
三 群众經驗簡結	12
第二部分 三合土物理力学性能的試驗研究	14
一 三合土的抗压强度	16
(一) 原料、配合比与抗压强度的关系	16
(二) 施工、养护方法与抗压强度的关系	24
(三) 時間与抗压强度的关系	29
二 三合土的防滲性能	31
三 三合土的抗冲性能	32

四	三合土的抗冻性能.....	33
五	小 結.....	34
第三部分	改善三合土建筑性能的試驗研究.....	35
一	掺合料对提高抗压强度的作用.....	37
二	掺合料对提高防渗性能的作用.....	38
三	掺合料对提高抗冲性能的作用.....	39
四	掺合料对提高抗冻性能的作用.....	41
五	小 結.....	42
尾	語.....	44

第一部分

三合土土工建筑物調查研究

一、对三合土土工建筑物現狀的調查

(一) 三合土土工建筑物的一般情况

濰坊市白浪河中、下游一帶，普遍有利用三合土修建土工建筑物的习惯。我們在那里調查了护岸、丁壩、滾水壩、桥梁、涵洞以及城墙等大小建筑物約20处，其工程作法、現狀及使用情况如表1所示。在調查中，我們并从一部分建筑物上采取了試块，进行抗压强度的鉴定，其結果如表2所示。

(二) 东常寨三合土护面滾水土壩情况

該壩位于濰坊市北，白浪河下游，东常寨村西南1公里許。壩长51.25米，高2.7米，壩为梯形断面，頂寬2.2米，上游边坡1:2.5，下游边坡1:3。壩趾下游有靜水池，系石砌，长6.1米，池的末端設有消力檻一道。壩的前后趾，有三合土截水墙各一道，每道长5.8米，高0.3米，寬0.6米。壩体用粘土夯实，壩壳（护面）用1:2:3（体积比）的三合土捶制，壳厚0.2—0.3米。壩的两端有拦墙，也是粘土心墙，三合土外壳。

該壩于1958年6月上旬建成，自6月25日以后，經過数次洪水，壩頂最大水深0.4米，估計流量在20秒立方米以上。

表 1

三合土水工建築物調查情況表

建築物種類	調查地點	修建時間	工 程 作 法	現 狀 及 使 用 情 況
岸	白浪河中、下游兩岸，共調查護岸工程 9 處。	大部為 1952 年，只龍爪樹村附近護岸是 1910 年修的。	護岸的河底以上部分高約 2 米，頂寬 0.4—0.8 米，底寬約 1 米，長度達 100—800 米，臨水側大部為直牆，僅西賈莊附近呈梯狀（階高 0.2 米）。土、石灰、砂的配合比例為 3:6:9（體積比）。	每年汛期洪水都漲到與岸頂部相平，龍爪樹、龍良子、指兒莊、東賈莊、杏嶽子等處，現均完整無缺，很堅固。龍良子村附近護岸下面的基礎是百余年前修的，迄今仍未受到破壞。只西賈莊附近的護岸（長 700 米）有 250 米長的一段，表層 0.5 厘米呈片狀剝落，南段埋于土中，復土厚在 0.15 以上，表層可以剝去 0.1 厘米。
丁 壩	白浪河西岸，南陽村附近。	1954 年。原有舊基礎，系 300 年前修建的。	約高 5 米，壩頂寬 1 米，底寬最大達 10 米，長 21.5 米。表面砌石護面厚約 0.1 米。為保證泄洪及減少對岸的沖刷，壩端設為 1:3，側坡為 1:2。	表層砌石有的地方已沖壞，但三合土仍很完整。其基礎在平行水流方向上受沖刷，有數道深 0.8 米、長 3 米的溝。其所以受沖刷，據調查系因壩端為直牆與河水主流頂沖之故。其下游還有一段 300 年前修的壩基，現表面仍很完整，未受沖刷和破壞。
橋	白浪河濰坊市大小石橋。	120 年以前	三合土用於橋基部分，埋在河底下的約 1.5 米（領橋的橋台也是用三合土修的）。橋面及橋台均用石料。	基礎部分經常受水沖刷，濰坊市大小石橋及常寨橋的基礎表面仍完好，很堅硬。安固橋的水泥護面與三合土結合得不好，被沖壞，但三合土並無破壞。楊莊橋系多季施工，其中有一部分三合土剛打好即遇大雪，現受凍部分已破壞達 0.1 米，未受凍部分，表面有輕微的剝落，領橋的橋台及基礎部分，均沖有深 5 厘米、寬 1—3 厘米、長 0.1—0.5 米的小溝（在底部平行於流向；橋台兩側垂直於河岸）。據調查，破壞原因是三合土中石灰的用量少。
梁	白浪河安固橋，小圩河楊莊小石橋。	1951 年	安固橋的基礎，并用水泥沙漿抹面。安固橋 85 孔，長 120 米，寬 5.3 米。河底以上部分高 1.4 米。常寨橋長 85 米，高 16 米，寬 3.1 米。	
	白浪河常寨橋。	1954 年		
	圩河支流領橋。	1950 年		
涵洞	白浪河、圩河兩岸。	50—30 年以前。	涵洞洞壁厚 0.3 米，復土厚 0.2 米以上。	迄今大部仍很安全。其中大廟村涵洞的詳細情況，本文另有詳細介紹。
渡水壩	白浪河中游東常寨村。	1958 年 6 月上旬竣工。	詳見本文及附圖 1。	詳見本文及附圖 1、2
城 牆	濰坊市（臨白浪河部分）	120 年以前	高約 12 米，頂部厚 0.5 米。	因沖刷及冰凍作用，部分城牆表層 0.2—1 厘米，有平行於流向的小溝，但有的部分仍然完好。

表 2 三合土水工建築物抗压强度情况表

建築物 類別	建築物位置	修建 時間	抗压强度 (公斤/平方厘米)	試块的情况与說明	試块处理說明
护岸	白浪河西岸 东南阳村东南 約300米	1974 年	50	三合土配合比为1:2:3 (体积比), 所用沙料粗而勻。施工时拌合不均, 但夯实較好。	所采試块呈三角形, 用水泥漿抹成圓形形状, 水泥漿約占試块体积的二分之一。
涵洞	大圩河三官 庙村	25年 前	50	其所用沙料的粒徑为1—5毫米。施工时拌合不均勻, 夯实不太好, 孔隙較大。該建築物原在水下, 現已露出水面达4年半。	用水泥漿修補, 水泥漿約占試块体积的四分之一。
浪水壩	白浪河下游 东常寨西南 約1公里	1958 年6 月上旬	28.4 (水下飽和时 为15.5)	三合土配合比为1:2:3 (体积比), 拌合不甚勻。容重1.68, 孔隙率34%, 吸水率19.5%, 飽水率22.5%。	試块尺寸为7.07×7.07×7.07立方厘米, 表面比較平整, 上下受压面曾在混凝土板上干燥磨平。
涵洞	大圩河改道 处大庙村北 約1公里	1951 年4 月	24	沙料較細, 石灰用量多(試块呈白色), 拌合較均勻, 施工时夯实較好, 密实性大。	受压面不平, 强度可能偏低。
丁壩 基础	白浪河西岸 东南阳村东南	300 年前	20	沙料較細, 配料中沙子、石灰少, 土(沙土)多。拌合不均, 挟有小块石灰。	用水泥漿修補, 水泥漿約占試块体积的五分之一, 受压面不平, 强度可能偏低。
备注	表列抗压强度, 除特別注明者外, 均为干燥不浸水情况下測得的。采样时间为1959年2月及4月。				

为了深入地研究这个浪水土壩三合土护面的修建經驗, 除了現場調查訪問以外, 并补作了土壩过水情况的水工模型試驗 (采取10米长的一段壩身进行断面模型試驗, 模型比例为1:20, 試驗結果见图1及图2) 和有关三合土的物理力学性測定。茲將調查及試驗結果綜述如下:

1. 从壩上采取的三合土試块的物理性試驗結果来看 (其容重为1.68吨/立方米, 孔隙率为34%, 吸水率为19.5%, 飽水率为22.5%), 其結構比較疏松, 易于吸入水分, 因而可能

遭受气候变化影响，特别是冰冻所引起的破坏作用。

同时，从冻融試驗結果看，在 -17°C 及 $+20^{\circ}\text{C}$ 的溫度循环冻融下，只循环三次試块便普遍出現裂紋；当进行第四次循环时，試块即松碎破坏。按：岩石（容重大于2.2吨/立方米，孔隙率小于15%，吸水率小于8%）及混凝土（容重也在2.2吨/立方米左右）在同样的冻融情况下，可以經受50次以上的循环。

实际上，該壩建成后，經過将近一年（1958年6月—1959年4月）的考驗，由于气候的寒暑变化，壩坡表面抹光的三合土，已发生碎裂剝落現象，背水坡面剝落面积約占五分之一（临水面被水淹沒，未能观察）。由于表层剝落，在壩坡上出現蜂窝現象。

2. 从壩頂水深及过壩流量的关系曲綫（图1）上看出，当壩頂水深为0.4米时，过壩流量为30秒立方米，与現場調查时估計的20秒立方米以上接近。同时，从图2上可查得相应的最大流速为6.4米/秒，发生在下游壩坡接近壩趾处。該处在1958年的洪水时期并未遭到破坏。

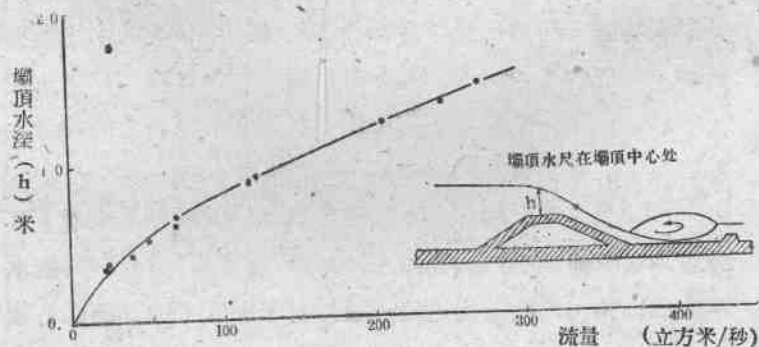


图1 东常寨三合土滾水壩壩頂水深与流量关系曲綫

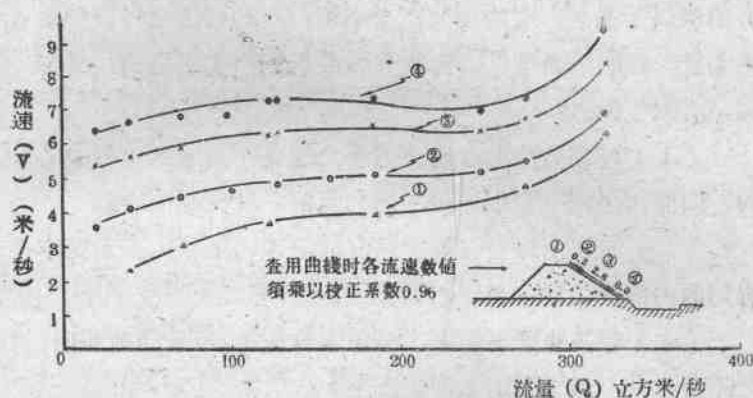


图2 东常寨三合土渡水壩壩面流速与流量关系曲线

又从模型試驗資料可以看到，該壩断面形状，在各級水位、流量和下游无水的情况下，壩面均为正压力，沒有真空現象产生，故若施工及管理养护良好，使得壩面保持平整，則可避免发生負压現象。实际上，这个壩的过水处，由于表面剝落出現凹凸不平，有局部挑流現象，易于形成負压，使水流起落拍击壩面，发生震动影响。

3. 根据对所采三合土試块进行抗压强度試驗的結果，在干燥不浸水的条件下，其抗压强度为28.4公斤/平方厘米，在水下飽和状态，其抗压强度为11.5公斤/平方厘米，較在干燥状态下的强度降低一半还多。

又从渗透試驗結果看，其渗透系数为 3×10^{-6} 厘米/秒，接近于天然状态下重壤土或粉質粘土的渗透系数。

4. 根据实地調查情况，該壩壩面出現大小裂縫40余条，縫寬1—6毫米，长1—50米，縱橫縫垂直相交。裂縫走向

有的傾斜于壩面，有的則垂直于壩面，有的自壩頂一直伸展到壩趾；在壩的兩端，尤為明顯。分析其產生裂縫的主要原因，有如下四點：

（1）該壩為粘土心牆、三合土壩壳，兩者的壓縮量不同，因而在壓縮過程中發生不均勻沉陷，致使壩面裂縫。

（2）三合土外壳較薄，只有0.2—0.3米厚，當承受不均勻的內部應力時，易于斷裂。

（3）壩基處理不徹底，淤泥未曾清除，當承受荷重時，沉降量較大，易于引起不均勻沉陷。

（4）在三合土的配合比中，石灰與粘土占的比數較大，當承受溫度變化影響時，收縮性也就較大，因三合土不能承受拉力，故發生裂縫。

（三）三合土遭受破壞情況

1. 大廟村涵洞：

這個涵洞修建於1954年春，洞長16.2米，垂直寬度2.5米，斜寬3米，拱頂半徑1.25米，總高度4米。

在調查時，發現涵洞的拱頂有順涵洞方向的平行裂縫二條，間距0.5—0.6米，縫寬2—3毫米，貫穿整個涵洞。其產生裂縫的原因，主要是：地基的不均勻沉陷，使拱頂受力不均；配料拌合不均，經溫度變化產生不均脹縮。

在涵洞進出口之三合土洞壁上，表層有部分剝落現象，據調查，其表皮硬度很高，呈紅褐色，如同沙岩，但表皮剝落后，內部即比較松脆。其表層剝落，主要是由於冰凍作

用。洞壁下部曾經浸水部分，剝蝕較重，拱頂及洞壁上部，則剝蝕輕微。自該涵洞入口處的洞壁下部（距地面1.4米），採取三合土試塊的檢驗結果表明，其在乾燥不浸水狀況下的抗壓強度為5公斤/平方厘米。

該涵洞雖然發生上述的裂縫及表層剝蝕現象，但在歷年汛期泄水時，洞中水深達1米，而洞壁上卻毫無沖刷痕跡。這說明三合土具有一定的抗沖能力。

2. 賈莊的三合土護岸工程：

據調查了解，該工程在歷年汛期洪水的沖刷中，均未被急流沖壞。該處1953年汛期實測的斷面平均流速達3.02米/秒。

這個護岸工程，常年淹在水下部分，並未發現表層剝蝕現象；露出水面以上部分，表層雖有剝落，但很輕微；只是靠近水面部分，由於氣候變化，特別是冰凍作用，剝蝕較重，據說每年因冰凍而剝蝕的表層達2—3毫米厚。據當地群眾反映：若雪後隨時掃除積雪，則可減輕表層剝蝕。

二、用三合土修水工建築物的方法的調查

（一）各項材料的選擇與要求

1. 石灰：宜用新鮮塊灰，施工時加水粉化為石灰粉末（粉化後即將粘土、石灰、沙子順層堆放，勿使散在空氣中，以免硬化失效）。不宜用早氧化好了的熟石灰，以免減低膠結能力，不能使土、灰、沙密合在一起。石灰粉末中不宜有灰

块，以免湿润后再膨胀，影响质量。

2.土：以无杂质的粘土为最好，黄土也可以用。不宜使用有机质或沙质含量过多的土。据老工人谈，河淤土不能用，因为这种土对三合土有腐蚀作用。

3.沙：以清洁的石英沙为最好，不要用含有杂质的沙。其颗粒直径以2—3毫米为宜，如粒径过大，不能与土、灰很好结合，如粒径过小，可能使三合土的凝固时间延长。

4.水：最好用清水，不宜使用污水。硷水容易“反潮”，使三合土很长时间内不能凝固，减弱抗冲能力，也不宜使用。

(二) 材料配合比例

石灰、粘土、沙子的配合比例要适当。石灰、粘土不宜过多，多了则收缩性大，容易裂纹；如果沙子过多，胶结料（石灰、粘土）过少，则易减低其粘结力，而致形成三合土脆弱无力。潍坊市一带流传的四种主要配合比（通常用体积比）如表3所示：

表3 三合土材料配合比例表

配合比例			适用条件	每立方米三合土用料数量	备 注
土	灰	沙			
1	2	3	桥基、护岸、涵洞、丁坝等水工建筑物	石灰270公斤、沙子0.65方、土0.216方	
1	1	2	护岸、墙基、房屋等。	石灰210公斤、沙子0.65方、土0.32方	
7	3		墙 基		
	3	7	坟 墓		

(三) 材料的調制

先将三种材料按配合比分层摊于地面(沙在下,土在上,石灰在中間,以防石灰粉被风吹走),然后进行拌合。拌合方法是將摊平的材料分段切下,用鉄鍬把子进行干拌,一般拌合三遍即可达到均匀。

在加水时,起初可用水壶或水盆洒水,用量要少而匀。湿润到一定程度时,再用噴壶均匀噴洒。用水要适量,过多不易夯实,过少又不能使土、灰、沙粘結在一起。其标准湿度,应是用手紧握成团,而不粘手,松手向上一顛,又能散开(实测含水量为土重的12—13%)。拌合后若土料太湿,应增加一部分干拌的三合土,重新拌合。將拌合的土料,堆放1—2天再用比随拌随用的好,但堆放时间最多不能超过10天。

(四) 夯 实

1. 工具和勞力組合: 夯打工具是一个带把柄的鉄錘,錘重約40—60市斤,呈腰鼓状,或圓柱形,用生鉄鑄成。錘背有鉄环系六根皮条,其中前面两根及后面两根的长度均为2.6米,中間两根长2.1米。每根皮条上再系麻辮子一根。共用皮条7.3米、麻繩三斤。錘的把柄用木制成,长0.8—0.9米,直径約5厘米,施工时每8人組成一个錘工組,其中2人掌握錘柄(輪流替换掌握),6人拉繩夯打。

2. 夯打方法: 根据建筑物的不同形式,將拌好的材料层层摊平后(每层厚0.2—0.5米,一般为0.3米),即进行夯

打。夯打方法一般有两种：一种是打七遍，将土倒入后，用脚踏实，先打三遍过顶锤，使下边三合土压实。第一遍锤印很稀；间距3—4厘米，第二遍锤印紧靠；第三遍锤印要重迭2—3厘米，以愈打愈密为好；打第四、五、六遍锤时，要一锤挨一锤，抬高为0.6—0.7米，使上部三合土进一步压实；第七遍锤高为0.3米，以打平表面。另一种是打八遍，其打法是将材料倒入后立即打夯。第一、二遍高约1米，以稳定三合土；第三、四、五遍为齐眉锤（即提绳高度与眉毛齐，锤可以尽量高）；第六、七遍高约0.6—0.7米，以将三合土进一步压实；第八遍高约0.3米，使表面平滑（如立即铺打第二层，这一遍可免去）。第一遍锤印很稀，留一锤宽的空隙，第二遍打空隙，这样使空隙不打也能挤紧，以后依此类推。据调查，打夯速度在高锤举至2米以上时，每分钟打7—8下；密锤举至1.5米以上时，每分钟打42—44下；手锤举至0.3米以上时，每分钟打110—124下。如果施工工段很长，可用多组夯朝着一个方向平排夯打，严禁乱打或反方向夯打，因为这样不易打紧。夯打护岸边坡直墙的时候，在墙的外侧用木板作挡板，可使其表面平整。为防止挡板被挤发生变形现象，可用粗铁丝把挡板与里墙联系起来（铁丝的一端与挡板联系起来，一端与打入土中的木桩联系起来）。在打完每层夯后，把挡板拆下，再用木板把墙的表面拍平，至表面滑润出浆为止。

3. 夯打的质量是三合土强度的决定性因素，一般以打实后的高度来控制。铺料厚0.25—0.3米者，打成厚为0.15米，