

水利水电科学研究院

科学研究论文集

第 1 集

(土 工)

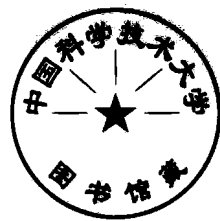
中国工业出版社

IV-53

中国科学院图书馆

本书是水利水电科学研究院土工研究所最近期間試驗研究 成果的 汇集，共計論文11篇，包括土工方面在勘测、設計、施工中各項問題的研討。这些論文是根据室內室外試驗研究資料、具体工程的实践經驗，并在理論上加以論証后編写而成的。

水利水电科学研究院
科学研究論文集
第 1 集
(土 工)



水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南营房)
中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)
(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)
中国工业出版社第二印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本787×1092¹/₁₆•印張7⁵/₈•插頁1•字数156,000
1963年8月北京第一版•1963年8月北京第一次印刷
印数0001—1,715•定价(10-7)1.15元

統一书号: 15165 • 2313(水电-313)

目 录

缺乏中間粒徑砂砾石的渗透稳定特性·····	刘 杰(1)
砂土天然密度測定方法·····	李碧玉 方滌华 赵宋方(11)
用 γ 射綫散射法測量深层土的密度的研究·····	李碧玉 秦蔚琴(25)
灌浆过程控制的研究·····	刘嘉材(40)
飽和砂土振动孔隙水压力扩散和消散問題·····	汪聞韶(50)
地面爆炸对地下建筑物影响的流体动力学解法·····	郭崇元 陆家佑(67)
定向爆破对隧洞破坏的探討·····	郭崇元 霍永基(76)
冬季負气温下碾压式土坝的施工·····	徐金城(85)
混合土料在其不同石砾含量下的最大干容重·····	蔣彭年(94)
压实粘性土料的飽和度与含气量·····	蔣彭年(102)
定向爆破筑坝技术·····	霍永基(111)

缺乏中間粒徑砂砾石^①的渗透稳定特性*

刘 杰

【提 要】本文主要内容是討論缺乏中間粒徑的砂砾石中細料含量与整个土的密实度、渗透系数以及渗透稳定性的关系，并且通过大量的試驗資料提出了估算該种砂砾石渗透破坏坡降的方法及数据。

一、概 述

近年来我国各地在砂砾地基上兴建了许多水工建筑物，根据已有資料，砂砾石的組成一般都缺乏中間粒徑(所缺乏的多为細砾)，其不均匀系数 $\eta = d_{60}/d_{10} > 20 \sim 100$ ，渗透系数变化在 $1 \sim 10^{-3}$ 厘米/秒之間。由于目前对渗透稳定性的本质还研究得不够，所以在工程設計中尚难确切地估計其渗透稳定性而采用經濟合理的防渗措施。因此，全面地研究这种土的渗透稳定性，对今后合理地确定防渗措施，保证工程安全，是具有实际意义的。

室内試驗和工程实践表明：当水工建筑物地基为缺乏中間粒徑的砂砾石地基时，在其下游出現的渗透变形的形式与一般无粘性土相同，可归結为流土和管涌两大类，即

1. 流土——土表面某一体积內(也可能很小)所有土顆粒不分大小同时移动的现象。这种现象有时是呈泉眼形式，有时是在坝下游的某一地区上整个土体被浮起。实际上，由于土层分布的不均匀性，常見的是泉眼形式。

2. 管涌——被渗透水流移动和带出的仅仅是粗料骨架孔隙中的細粒部分。

在实际工程中往往由于下游流土(泉眼)而在地基中形成管道，也有人称此为管涌，从变形的性质来讲，仍属流土。

区分砂砾石渗透变形为流土或管涌的准则，苏联伊斯托美娜 (B. C. Истомина) 根据試驗資料⁽¹⁾认为：在由下向上的渗透水流作用下，对于不均匀系数 $\eta > 20$ 时，土的破坏形式为管涌，当 $10 < \eta < 20$ 时，破坏可能是流土，亦可能是管涌，当 $\eta < 10$ 时，純粹为流土。根据我們的許多試驗資料，缺乏中間粒徑的砂砾石的不均匀系数是不能完

① 砂砾石为砂砾、砾石、卵石的总称，其正确名称，应根据顆粒大小組成按土工試驗操作規程确定。

* 参加本工作的还有張靜敏同志。

全說明其渗透变形形式的, 对于 $\eta > 20$ 的砂砾石, 它也可能是流土破坏, 也可能是管涌破坏, 主要决定于粗料中細料的填充程度。例如列于表 1 中编号为 0—1、4—2 和 4—3 的三个土样, 虽然它們的不均匀系数均大于 20, 但由于細料含量大于 25%, 所以其破坏形式都是流土。

馬斯洛夫(Н.Н. Маслов)早已指出^[2]: 砂砾土的渗透性主要取决于細料填充粗料孔隙的程度, 填充得愈完全, 則渗透性愈小。伊斯托美娜(В.С. Истомина)也曾提到細料对粗料孔隙的填充程度对渗透变形形式的影响^[1], 但都沒有詳細闡述。康德拉契夫(В.Н. Кондратьев)也曾指出过, 当骨架(相当于我們的粗料)的孔隙率大于 50% 时, 其渗透变形的形式为流土^[3]。

对于渗透变形形式为流土的土, 一般都按照平均渗透阻力(动水压力)和土的浮容重相平衡的条件来确定临界坡降, 即

$$J_{kp} = (\Delta_s - 1)(1 - n); \quad (1)$$

苏联扎馬林(Е.А. Замарин)教授根据試驗資料建議

$$J_{kp} = (\Delta_s - 1)(1 - n) + 0.5n. \quad (2)$$

式中 J_{kp} ——流土临界坡降;

Δ_s ——土粒比重;

n ——土的孔隙率。

在确定管涌破坏的指标方面, 目前尙无較为完善的方法。伊斯托美娜根据“不均匀系数 $\eta > 20$ 时为管涌破坏”的結論給出: $\eta > 20$ 时, 土的破坏坡降 $J_f = 0.2$, 并繪出了 $J_f = f(\eta)$ 的关系曲綫。如上所述, $\eta > 20$ 时土的破坏形式是管涌的这一結論是不充分的, 因此, 它的破坏坡降与不均匀系数的关系也就失去了預計的使用价值(見表 1)。

表 1

土样 编号	土样 分类 名称	不均匀 系 数 $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	細料含量 (占总土 重的百分 数)	干容重 (克 厘米 ³)	土粒开始移动时		平均渗 透系数 (厘米/秒)	土粒开始 移动前 的一級坡降 $J_{H \cdot P}$	破坏坡降 $J_f =$ $\frac{J_H^C + J_{H \cdot P}}{2}$	試驗終了 时的坡降	开始破 坏 的 形 式
					坡 降 J_H^C	渗透速度 v (厘米/秒)					
0—4	卵石	170	18.0	2.33	0.19	0.11	0.056	0.14	0.16	0.34	管涌
0—3	卵石	245	25.0	1.99	0.33	0.003	0.0088	0.26	0.29	0.50	管涌
0—2	卵石	248	25.0	2.27	0.57	0.003	0.0041	0.49	0.53	0.75	管涌
0—1	卵石	237	29.0	2.17			0.0051		0.52		流土
4—3	砂砾	21.4	50.0	1.87			0.0015		1.24		流土
4—2	砂砾	30.3	35.0	1.97			0.0013		1.30		流土
4—1	砾石	24.7	20.0	1.88	0.28	0.045	0.15	0.2	0.24	0.91	管涌

根据以上情况, 我們曾对缺乏中間粒徑的砂砾石进行了系統的研究, 并得出砂砾石中細粒料的含量与其渗透稳定性的关系。

二、渗透稳定性的試驗研究

对缺乏中間粒徑的砂砾石(砂卵石), 我們曾从它的机械組成与最大密实度、渗透系数以及管涌性的三个关系方面进行了一系列的試驗研究, 試驗結果分述如下:

(一)机械組成特征以及粗細料的区分原則

如果將所研究土料的顆粒組成以对数尺寸的橫坐标表示顆粒粒徑, 纵坐标表示相应于每一粒徑級的顆粒重量百分数, 繪成顆粒分布微分曲綫(图 1 中的砾2'—3)。可以看出, 这种土的特征是具有两个峰点, 并在两峰点之間有一明显的断裂点。通常称这种土为砂砾(砂卵)混合料, 在土工中这是級配最坏的土。可以认为这种土是由粗、細两种顆粒組成, 二者以顆粒分布微分曲綫上的断裂点来区分(如图 1 中砾2'—3的断裂点为 0.9 毫米), 亦即大于断裂点的部分为粗料, 小于断裂点的部分为細料, 与断裂点相应的粒徑称为粗、細料的区分粒徑。以区分粒徑为細料的最大粒徑(作为 100%), 同时也为粗料的最小粒徑(作为 0%), 即可分別繪出粗、細料的顆粒分配曲綫(如图 1 中的砾2'粗料以及砾 2' 細料)。由以下的試驗可以看出, 这种区分粗、細料的原則是具有实际意义的。

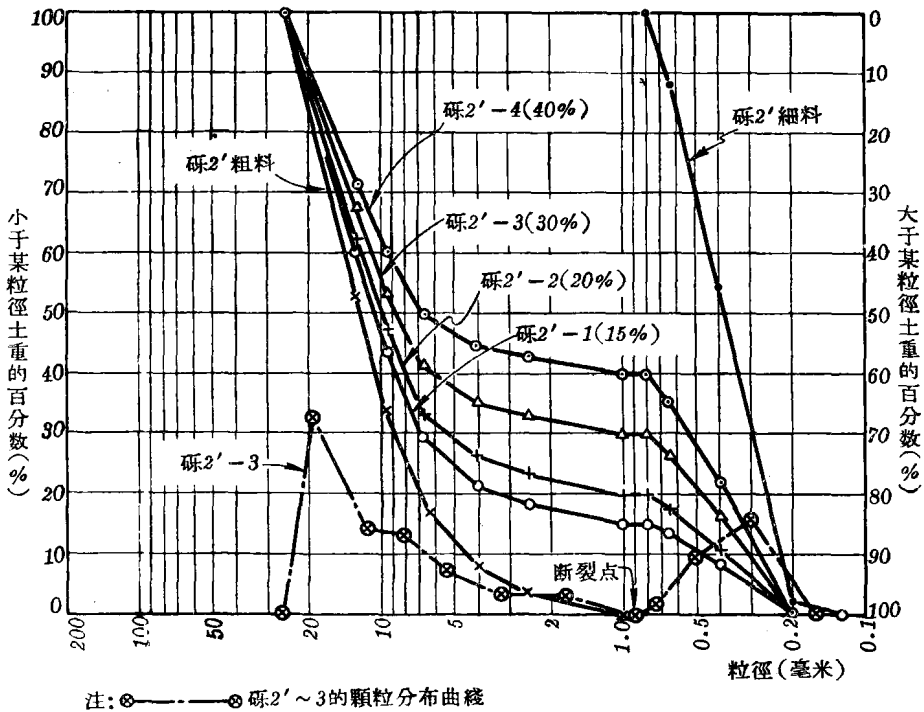


图 1 砂砾石砾2'—1到砾2'—4及粗料砾2'和細料的顆粒組成曲綫

(二)砂砾石的細料含量与密实度关系的試驗

对于理想的缺乏中間粒徑的砂砾石, 当細料的含量小于或等于某一数值时, 它只

起填充粗料孔隙的作用,不会影响粗料体积的增大。在这种情况下,对砂砾混合料而言,随着细料数量的增加,其容重成直线增加,直至粗料的孔隙全被细料所填充为止,而且粗、细料本身均处于紧密状态时,砂砾混合料将达最大容重,在此以后,若继续增加细料含量,则粗料本身将被细料所撑开,使混合料的体积增大而容重减小。对于理想情况下达到最密实时的细料含量值 P , 根据细料的体积等于粗料孔隙体积的原则,可用下式来表示:

$$P = \frac{\gamma_{d1} n_2}{(1 - n_2) \gamma_{s2} + \gamma_{d1} n_2}, \quad (3)$$

式中 γ_{d1} ——细料本身所具有的干容重;

n_2 ——粗料本身在密实状态下的孔隙体积(在细料刚填满时相当于单位体积混合料内细料的体积),以总体积的小数计;

γ_{s2} ——粗料的土粒容重。

天然砂砾混合料达到最密实状态时的细料含量 P' , 往往大于 P , 其差值取决于粗

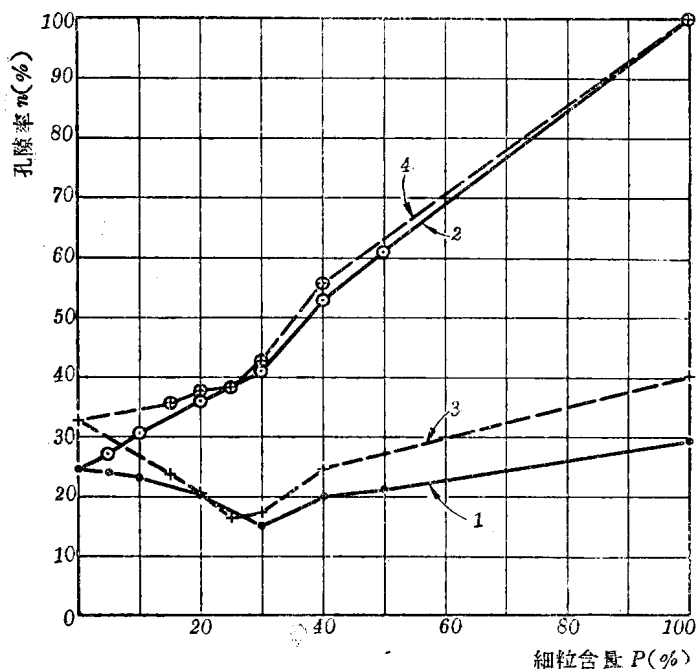


图2 砂砾混合料孔隙率、粗料孔隙率与细料含量的关系

1——由粗料土1配成的各种混合料最小孔隙率。

2——粗料土1掺入细料后粗料最小孔隙率。

3——由粗料砾2'配成的各种混合料最小孔隙率。

4——粗料砾2'掺入细料后粗料最小孔隙率。

$$\text{粗料孔隙率 } n = 1 - \frac{(1 - P) \gamma_d}{\gamma_{s2}}$$

γ_d ——混合料干容重。

γ_{s2} ——粗料颗粒容重。

料和細料粒徑的比值，比值愈大差值愈小，另外还与粗料本身的孔隙率有关。

細料含量与密实性关系的試驗是在直徑11厘米、高30厘米的透明塑料筒及直徑为10厘米的击实仪中进行的。透明的塑料筒可以观察压密过程中土顆粒沿高度分布的均匀性。压密由人工夯錘进行，錘重2.5公斤，单位平均功約为10公斤-厘米/厘米³。試驗用的粗料粒徑組成为4~25.4毫米、1~25.4毫米及0.63~25.4毫米三种。对4~25.4毫米及0.63~25.4毫米的两种粗料，用粒徑小于0.63毫米的細砂作細料；对1~25.4毫米的粗料，則用中砂作細料。細料含量分別为10%，15%，20%，30%，40%，50%。用击实法分別进行粗料、細料以及各种細料含量的土料的最大干容重試驗，求得最小孔隙率。将同組試驗資料繪成孔隙率与細料含量的关系曲綫，如图2所示。图1为粗料砾2'和中砂以15%，20%，30%，40%的四种含量配成的一組混合料曲綫。

由图2可見：在开始阶段随着細料含量的增加，混合料的孔隙率曲綫1、3显著下降，但細料含量达30%左右时，若再增加細料含量，其孔隙又逐漸增大。这一現象完全証实了我們所設想的理想情况，并且认为孔隙率最小时混合料的細料含量，即为粗料孔隙剛被細料所填滿时的細料含量值。

表2列出了四組土料的粗料孔隙剛被細料填滿时所需細料量的极限值，由表2得知，P一般小于試驗值。

表2

粗料土样编号		砾2'	砾2	砾2①	土1	备 注
		1~25.4毫米	4~25.4毫米	3~5毫米	0.63~25.4毫米	
粗料与細料粒徑的比值 D_{15}/d_{85}		11.0	14.5	15.0	3.34	D_{15} —粗料中的一种粒徑，小于該粒徑之土重占总土重的15% d_{85} —細料中的一种粒徑，小于該粒徑之土重占总土重的85%
粗料的不均匀系数		3.1	2.3	1.3	5.6	
最小孔隙率时的細料含量 (%)	計算值	理想 P	24.7	25.7	27.9	18.0
		P'	27.1	27.3	29.6	32.0
	試驗值		27.0	28.0	28.6	32.0
混合土孔隙率	最 大			0.29		0.31
	最 小		0.16	0.18	0.22	0.15
粗料孔隙率	最 大			0.44		0.33
	最 小		0.33	0.33	0.39	0.24

① 砾2为魯巴契柯夫(Е.А.Лубочков)的試驗資料^[4]。

俄哈勤(В.В.Охотин)在两种較为均匀的粒徑組以不同比例混合后进行的試驗中指出^[5]：当粗、細料粒徑的比值大于16时，則将得到最密实的混合料，此时細料只占有粗料的孔隙，并不破坏骨架的結構。如果将俄哈勤的試驗資料用粗料的 D_{15} 以及細料的 d_{85} 的粒徑重新整理后，可求得当 $D_{15}/d_{85} \geq 11$ 时将得到最密实的混合料，这与

巴特拉雪夫(А.Н.Патрашев)^[9]区分土为骨架与填料的标准 $D/d_0 \geq 10 \sim 12$ 是一致的 (D ——骨架粒径, d_0 ——填料粒径)。

从砾2、砾2'及鲁2三个粗料配成的混合料的试验来看, D_{15}/d_{85} 均大于11, 计算的理想细料含量值接近于试验值。因此认为, 用 D_{15} 和 d_{85} 来表征非单一粒径的粗、细料的某种特性粒径是具有一定实用性的。无论我们的以及鲁巴契柯夫的试验资料均说明: 即或在 $D_{15}/d_{85} > 11$ 的情况下, 混合料中的细料含量虽未达到最优含量值, 但粗料本身的原有结构已开始遭到破坏。如图2中的曲线4, 当细料含量为15%时, 粗料的孔隙率已不再是纯粹为粗料时的孔隙率了(增大2.5%), 这是由于混合料中的细料不仅填充到粗料的孔隙中, 而且有少量的细料被挟挤于粗料之间, 因此使粗料无法保持本身原有的孔隙尺寸。

以上情况说明: 实际混合料的细料含量值 P' 一般大于理想情况下的细料含量值 P 。从我们的资料出发, 分析了俄哈勤的资料后认为: 在式(3)中加一试验修正值后, 将可得到近似于实际情况下混合料最密实时的细料含量值的计算式:

$$P' = P + \Delta P = \frac{\gamma_{s1} n_2}{(1 - n_2) \gamma_{s2} + \gamma_{s1} n_2} + \frac{74}{\left(\frac{D_{15}}{d_{85}}\right)^{1.4}} \quad (4)$$

将式(4)的计算值与试验值进行比较, 可看出二者很相近。因此认为对于天然的缺乏中间粒径的砂砾石, 其粗料孔隙被细料所填充的程度, 可以用式(4)计算得的混合料最密实时的细料含量值作为判别标准。如果天然砂砾石中细料的含量小于按式(4)计算所得的数值, 则说明其粗料的孔隙尚未被细料完全填满; 如大于计算数值时, 则粗料被细料全部包围, 而成个体地存在于细料中。

根据我国河流中缺乏中间粒径的天然砂砾石(或砂卵石)的组成特性, 并结合已有试验资料, 我们认为最密实时的细料含量值 P' 变化于25~35%之间, 一般都在30%左右。从实用出发, 可以将这一数值用来判别缺乏中间粒径的天然砂砾石中粗料孔隙被细料填充的程度。

(三) 渗透性试验

对于缺乏中间粒径砂砾石这种土的渗透特性, 我们曾用同一组成的细料, 五种不同组成的粗料(最大粒径范围变化在25~150毫米之间), 以不同的细料含量配成五组共24个土样, 进行了四十多个试验。试验结果(见图3)表明:

1. 在不同的粗料组成下, 如果细料的组成相同, 而其含量大于20%时, 则混合料的渗透系数趋于相同。

2. 细料含量大于总土重的30%以后, 混合料的渗透系数在 $K = 0.0013 \sim 0.003$ 厘米/秒之间; 细料本身的渗透系数 $K = 0.0027 \sim 0.003$ 厘米/秒。

这一试验说明, 这种砂砾石的渗透性主要取决于细料的填充程度; 当细料含量大于总土重的30%以后, 对混合料的渗透性起控制作用的是细料的特性, 而不再是粗料;

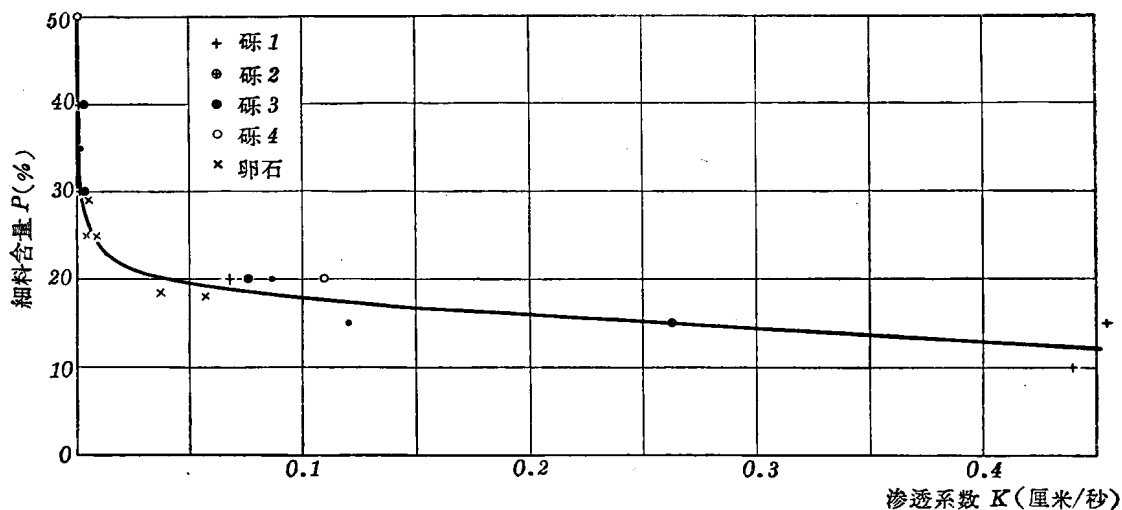


图3 細料含量与渗透系数的关系

这一控制混合料渗透系数的細料含量的数值，基本上与上节所討論的达到最密实状态时的細料含量值相一致。

(四)管涌性試驗

管涌性試驗中所选土料的区分粒徑为 2.0, 1.5, 1.0 和 0.9 毫米四种，土样共23种。其中天然級配的土样六种，余按区分粒徑由人工配制而成。配制方法同密实度試驗。最大顆粒粒徑为 150, 78.5 和 25 毫米三种，不均匀系数变化于 250~20 之間。根据土料的最大粒徑，分别选用直徑为 100, 56.5 及 20 厘米的三种垂直管涌仪进行了 40 多个試驗，其中以 20 厘米的垂直管涌仪为主，其它两种仪器，主要用来查明土的不均匀系数以及粗、細料粒徑之比值对破坏坡降的影响。試驗时的容重，按中等密实控制。装样时尽量保証土在各个方向的均一性；水流方向由下向上。

图 4 为一組土料在不同細料含量下其干容重与破坏坡降关系的試驗資料。图中进一步說明了混合料中細料的含量对其組成特性的影响：当細料含量 $P=20\%$ 时，混合

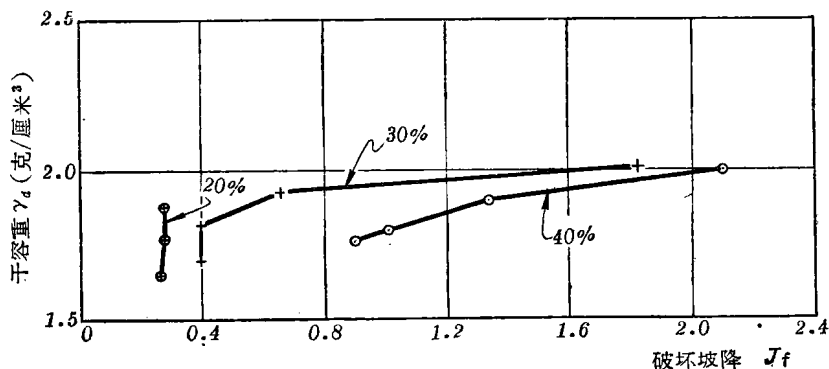


图4 干容重、細粒含量与破坏坡降的关系

料干容重的增大对破坏坡降的影响很小,但 P 为30%和40%时,土料干容重增大,其破坏坡降就有显著的增加。这一现象说明了細料的含量为20%时,即使粗料的结构有不同排列(紧密或疏松),其孔隙体积仍然大于細料的总体积,因此混合料容重的改变,仅仅改变粗料结构的排列(由疏松到紧密),而不能改变或很少改变它和細料间的相互关系——細料在粗料中的可移动性。相反,当細料的含量等于或大于30%时,由于細料的总体积接近或大于粗料的孔隙体积,此时混合料容重的增大将使粗、細料间的排列更为紧密,易被渗透水流带出的細顆粒将进一步受到挤压,因此破坏坡降增大。

根据专门的研究試驗,以及几年来結合实际工程所作的試驗,整理成图5和图6。該两图同时繪有伊斯托美娜的試驗資料中关于缺乏中間粒徑的砂砾石的14个試驗。从图中可知其資料在曲綫图上的規律性是和我們的資料一致的。

图5为破坏坡降 J_f 与細料含量百分数 P 的关系曲綫。图中清楚的說明:一般当細料的含量 $P > 20 \sim 25\%$ 时,繼續加大細料含量将使其破坏坡降迅速提高;細料含量 $P < 20\%$ 时,各类土的破坏坡降大致相同,并接近于 $0.07 \sim 0.2$ 。对于 D_{15}/d_{85} 較小的砂砾石,其值偏于上限; D_{15}/d_{85} 較大的砂砾石,其值偏于下限。

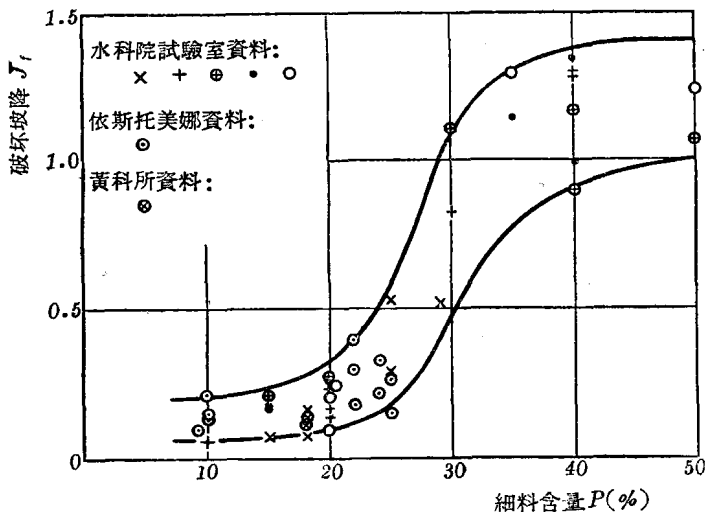


图5 破坏坡降与細料含量关系曲綫

由图5可知,破坏坡降开始迅速提高时的細料含量值,与密实度試驗中最密实状态时的細料含量值基本上一致。密实度試驗指出:当 $P = 25 \sim 35\%$ 时,粗料的孔隙被細料全部填充。当 $P = 20 \sim 25\%$ 时,細料虽然还未完全填满粗料的孔隙,但細料已开始受挤压,因而破坏坡降也开始提高。

若將試驗資料繪于半对数紙上,以破坏坡降 J_f 为纵坐标,以渗透系数 K 的对数坐标为横坐标,繪成图6所示的曲綫。可以看出,这种土的破坏坡降 J_f 与其本身的渗

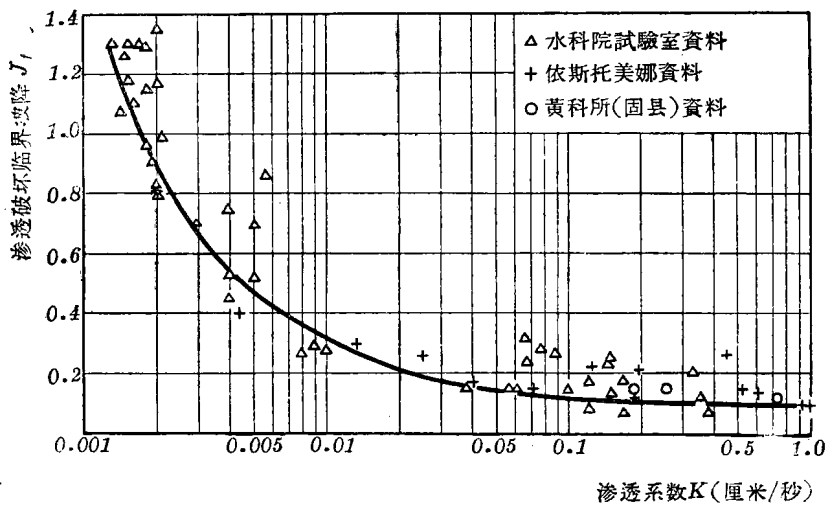


图 6 破坏坡降与渗透系数关系曲线

透系数 $\log K$ 之間存在着一定的关系，渗透系数愈大，破坏坡降愈小。倘从安全出发，取偏于下限的各点，可近似地给出如表 3 所列的数值。

表 3

透 透 系 数 K (厘米/秒)	破 坏 坡 降 J_f
≥ 0.5	0.1
$0.5 \sim 0.025$	$0.1 \sim 0.2$
$0.025 \sim 0.005$	$0.2 \sim 0.47$
≤ 0.005	≥ 0.47

三、結 語

通过以上的一些試驗研究，我們对缺乏中間粒徑的砂砾石的渗透稳定特性，可得出以下几点結論：

1. 对于缺乏中間粒徑的砂砾石这种土，完全可以认为是由具有两种特性的粗、細料混合而成。粗料和細料的区分应以顆粒組成微分曲綫上断裂点的粒徑为区分粒徑。其渗透性及渗透稳定性主要决定于粗料的孔隙被細料所填充的程度，粗料的粒徑 D_{15} 与細料的粒徑 d_{85} 的比值愈大，这一特性就愈为明显。式(4)为鉴别粗料孔隙是否被細料填满的标准。試驗資料表明：当細料占总土重的30%左右时，粗料孔隙全被細料所充填，此时混合料具有最大密实度，渗透系数及破坏坡降也都有明显的轉折，以后混合料的渗透系数及破坏坡降将主要决定于細料的渗透系数及破坏坡降。因此从实用出发可以将这一数值作为鉴别天然土的粗料孔隙是否被細料所填满的依据。

2. 对缺乏中间粒径的砂砾石, 当细料的含量大于35%时, 渗透破坏的主要形式为流土, 在25~35%之间时, 可能为流土, 亦可能为管涌破坏, 主要取决于砂砾石的密实程度以及细料的颗粒组成。对于密实度在中等以上, 且细料的不均匀系数较小的砂砾石, 一般为流土破坏, 反之为管涌破坏。细料含量小于25%的砂砾石则为管涌破坏。

3. 对于缺乏中间粒径的砂砾料, 由试验资料得到图6的经验关系 $J_f = f(\log K)$, 在中小型工程中, 这可以用作鉴别其渗透稳定特性的依据。如不知砂砾料的渗透系数而知其细料含量时, 可应用 $J_f = f(P)$ 的关系曲线的下限作为鉴别管涌性能的依据。对大型水工建筑物, 应通过试验决定。对于级配比较良好的砂砾石, 由于试验资料不多, 以上结果只可作为初步参考之用。

参 考 文 献

[1] Истомина В.С., Фильтрационная Устойчивость грунтов. Стройиздат, М., 1957г.

[2] 馬斯洛夫 К.К., 工程地质学. 地质出版社, 1957年。

[3] Кондратьев В.К., Фильтрация и Механическая суффозия в несвязных грунтах. Крымиздат, 1958г.

[4] 魯巴契柯夫 Е.А., “无粘性非管涌土”。水利学报, 1960年第3期。

[5] Охотин В.В., Гранулометрическая классификация грунтов на основе их физических и механических свойств. Ленгострансиздат, 1933г.

[6] 杜洛夫斯卡娅 А.Я., “论管涌的结构标准”。土工问题第二集, 地质出版社, 1959年。

砂土天然密度測定方法*

李碧玉 方濂华 赵宋方

【提 要】地下水位以下飽和砂土天然密度的測定，是土工勘探試驗中尚未妥善解决的重要問題之一。我們用泥浆法取原状砂、 γ 射綫散射法及电容法在野外測量深层砂土天然密度，并在湿砂中与环刀法进行了比較，証明上述三法均可获得較好結果。泥浆法取原状砂影响因素少，且都是机械操作，設備簡單，目前易于掌握和推广，能取出土样进行密度試驗；但进尺較慢，不能进行重复观测。 γ 射綫法和电容法均屬間接測定砂土密度的非破坏性勘探方法，施工簡單、迅速，可测出直径在50~80厘米范围内原状砂土的平均密度，可以进行土体密度变化动态的长期观测，但二者精度受到仪器設備的影响較大。电容法受土质及地下水矿化度影响大，仅适于土层單純和較純淨的土中，校正試驗工作量較大。 γ 射綫法不受上述影响，是其优越之处。

砂土天然孔隙比(或干容重)是重要的設計指标之一，它决定着砂土稳定性及承载能力。然而地下水位以下砂土天然密度的測定却一直未能获得妥善的解决。解放后，我国水利水电事业的飞跃发展，在砂基上兴建的大型水利水电工程日益增多，迫切需要解决測定砂土天然密度指标的方法，以滿足实际工程的需要。我院几年来对泥浆法取原状砂法(以下簡称泥浆法)、 γ 射綫散射法(以下簡称 γ 射綫法)及电容法等測定砂土天然密度的方法，在飽和和非飽和砂层中进行了比較研究，并在野外条件下用环刀法进行了校核，証实这三种方法都能較好地解决上述問題。

在解决天然砂土紧密度方面尚有其他許多方法，如冻结法，沉箱法，以及标准貫入、錐探等。目前在国外对应用錐探来解决砂土紧密度的問題引起了很大的注意，在試驗設備及施工方法上都有了很大的改善，获得了一定的成績，并认为是一个很有发展前途的方法，我院亦曾在研究以上三法的同时，根据苏联杜兰捷(В.А.Дуранте)所采用的錐探^[1]及美国太沙基(K. Terzaghi)等的标准貫入器^[2]进行了一些工作，企图确立錐探和标准貫入击数与砂土干容重的关系，但未能获得滿意的結果。其原因可能由于該二法受钻杆撓曲、钻杆重量、試驗深度、砂土顆粒大小以及孔壁摩擦力等影响，使試驗成果較乱，因此认为尚待繼續研究，在本报告中不拟介紹。本文仅介紹泥浆法、 γ 射綫法、电容法及其比較試驗結果。

* 参加这一工作的有本院土工研究所的李碧玉、方濂华、赵宋方、王慈民、潘仁根、秦蔚琴、顏世民和仪器研究工厂的林琼芳等同志，由李碧玉同志編写本文。在 γ 射綫散射法工作中曾得到本院仪器研究工厂卢葡英工程师的指导。野外試驗有东北水利科学研究所参加，并得到工地领导的协助。

一、泥浆法取原状砂

泥浆法是在地下水位以下的砂层中以泥浆作冲洗液回轉钻进至取样深度，以靜力压入固定活塞取土器取原状砂样，直接测定其天然密度。每次压入深度25厘米。固定活塞取土器土样筒內徑75毫米，壁厚1.5毫米，取土器結構見图1。此法适用于采取地下水位以下不含砾的純砂。泥浆的作用是保护井壁，悬浮和带出钻屑，防止土样脱落。采用固定活塞取土器是为了防止泥浆沾污土样，并易于取样及防止扰动。根据試驗，在所取砂样上下端有一薄层泥皮，而砂样本身并未受泥浆影响。測定时全部操作过程主要可分为取土器的装卸、钻孔取样以及干容重試驗三部分。

(一)取土器的装卸

从图1可看出，取土器主要由活塞、活塞杆、土样筒及在下放取土器时固定活塞杆的附属設備組成。首先将活塞与活塞杆連接在一起，安装于土样筒內。然后順次装接带球卡座的变接箍、松卡接箍、球卡、彈簧、保护接箍和松开接箍。待松开接箍擰入保护接箍至活塞杆頂端絲扣全部露出（如絲扣不能全部露出或露出过长，活塞杆的长度可借下部活塞作少許調整后，再装接固定螺絲），

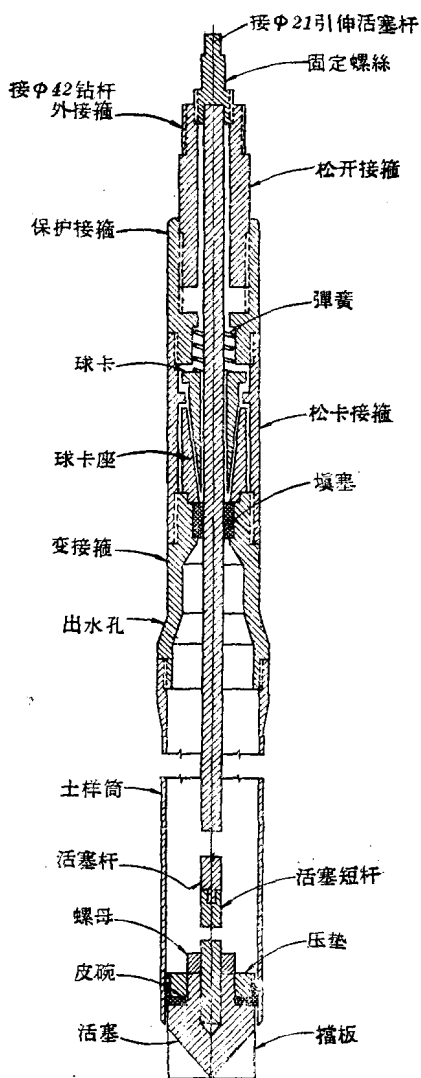


图1 固定活塞取土器

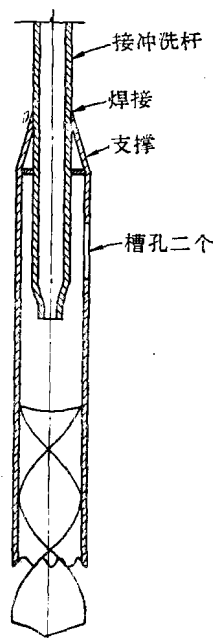


图2 清孔钻头示意图

并倒退松开接箍直至与固定螺絲接上两扣为止,至此活塞与取土器外壳就联結成一整体,以备取样。当取样完毕,卸下土样筒,拆洗取土器时,可先擰下固定螺絲,并擰松松卡接箍,使变接箍的絲扣露出三扣,以解除球卡的頂压,然后擰开变接箍(在这一步驟中松卡接箍等应一起擰轉以保持变接箍露出三扣),卸下活塞杆。

(二) 钻孔和取样

在钻孔处平整地面,豎立钻架,定准钻孔位置后,在离钻孔約10米处設置泥浆坑或沉淀箱,用膨潤土或当地粘土制备泥浆。对用膨潤土制成的泥浆要求为:胶体率大于97%,粘度20~25秒,比重1.05~1.15。如用当地粘土制备泥浆时,比重及粘度需較大。倘泥浆分散度不够,可用化学处理方法改善其性质,如酌量加入碳酸鈉、土碱等。清孔是用钻管接清孔钻头(图2)下入钻孔,用泥浆泵将泥浆从泥浆坑或沉淀箱送入冲洗管,同时应注意将钻头随时上提和轉动,以松动孔底砂土。被松动砂粒随压入泥浆順套管流出,經泥浆槽回流入沉淀箱。如此循环冲洗钻孔至所需取土高程后,将清孔器提出,然后将装配好的取土器下入钻孔內至取土高程处,固定引伸活塞杆,正轉钻杆使取土器上松开接箍与固定螺絲脫开(钻杆突然下沉3~4厘米,即表示已脫开),即可用絞車和組合滑車垂直施力于钻杆,将其压入25厘米,将引伸活塞杆动摇数下,即可用絞車将钻杆及相应的活塞杆上提。在提取过程中,注意随时向孔中灌注泥浆至滿。取土器提出套管后,沿筒口刮平加盖,以备測定容重。

在泥浆循环过程中,应注意用流槽、沉淀箱加以淨化,除去泥浆中夹帶的砂粒,不使含砂量过大,以便重复使用。如泥浆含砂量过大时,应換用新浆。

(三) 干容重試驗

将取土器如图3穩置木架上,将土样刮平,用預先准备好的各种长度的刮土刀(图4)刮出土样(土样一般可取5厘米长),将刮出土样就地炒干或烘干称重,按下式

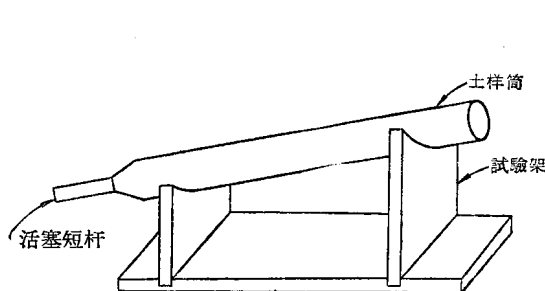
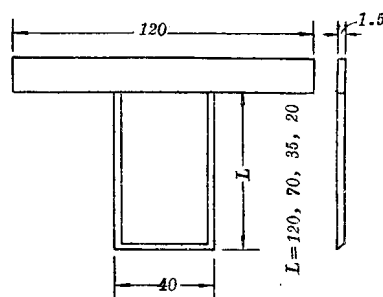


图3 干容重試驗示意图



单位: 毫米

图4 刮土刀示意图

計算出干容重 γ_d :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{(l_2 - l_1) \frac{\pi d^2}{4}}$$

式中 W_s ——干土重, 克;

$l_2 - l_1$ ——前后二刮刀长度之差, 厘米;

d ——土样筒直徑, 厘米。

二、 γ 射线散射法^{[3][4]}

利用 γ 射线测土的密度，国外在1950年就开始研究，近年来得到了很大的发展，并已在实际生产中应用。 γ 射线测土的密度主要有二种形式：一种是利用射线通过物质后被物质所吸收而造成的射线减弱程度来判别土的密度，称为吸收法；另一种是利用射线与土中原子的电子产生弹性碰撞后发生散射作用的强弱来判断土的密度，称为散射法。前法适用于探测浅层土的密度及作为施工质量检查之用；后法适用于深层勘探。本报告中仅介绍散射法用于深层勘探的情况。

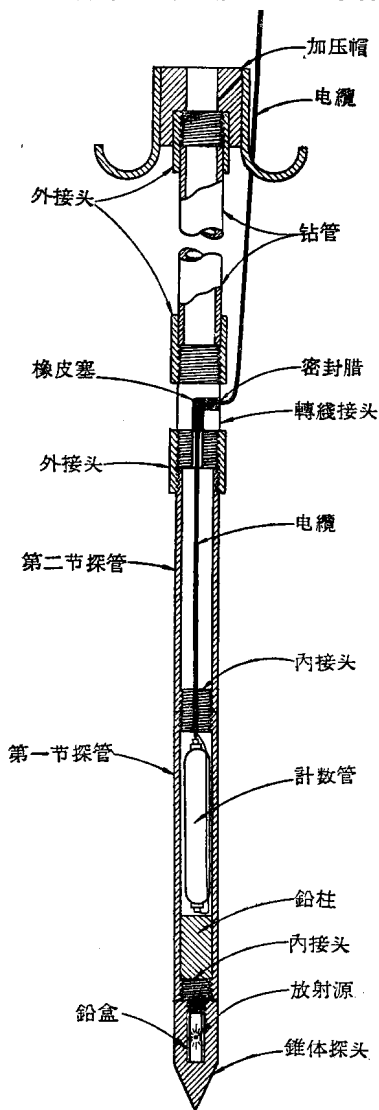


图5 γ 射线法探针示意图

γ 射线散射法测土的密度系一间接测定密度的方法，必须在探测前作出校正曲线，以备查用，因此整个施测过程主要分室内校正及野外实测二部分。对探针结构及放射源的选择关系到整个测量精度，也需先行周密考虑和试验比较。

(一) 探针(图5)的结构及放射源选择

探针尺寸从操作角度而言，宜用小直径，但主要还是由所选用的计数管大小而定。一般计数管小直径的较大直径的计数率低，如CTC-1(直径16毫米)就远比BC-4(直径21毫米)、MC-9(直径31毫米)等为小。在较为深层的勘探中，深度20米以内应用CTC-1型在不安装前期放大或阴极跟随器时，在地面无法接收到讯号，必须使用BC-4；而当大于20米以后，BC-4也不能满足要求，而必须使用MC-9。如果安装前期放大或阴极跟随器时，显然将增大探针的直径，因此确切尺寸需视实际情况而定。探针内屏蔽用铅柱必须具有足够的厚度，和管壁尽可能密合，以防止射线从底部直接照射计数管而严重地影响到测量精度。因此必须事先将探针悬吊空中，使所测得的脉冲数接近计数管在无源作用下于空气中的本底，一般采用钴-60放射源时，屏蔽厚度可选用14~16厘米(射线的减弱倍数可达 $5 \times 10^3 \sim 5 \times 10^4$ 倍)。

放射源目前一般较多用钴-60(半衰期5.3年，射线平均能量1.25百万电子伏特)及铯-137(半衰期33.3年，射线平均能量为0.66百万电子伏特)，源强多用2~3毫居里。