

公路工程参考资料

第十一輯

人民交通出版社

公路工程参考資料

(第十一輯)

人民交通出版社

本輯內容主要包括以下幾部分：（1）土的流變性質；（2）壓實粘性土的強度；（3）對現行柔性路面設計方法的修改意見（設計參數的討論）等。

本書可供道路工作者、道路科研工作者及有關院校師生參考。

公 路 工 程 參 考 資 料

第 十 一 輯

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

（北京安定門外和平里）

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新華書店北京發行所發行 全國新華書店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 廠 印 刷

*

1963年3月北京第一版 1963年3月北京第一次印刷

開本：787×1092₃₂ 印張：6₁₆張

全書：132,000字 印數：1—2,000冊

統一書號：15044·1480

定價（科六）：0.85元

目 录

某些物理-化学过程对土强度的

- 影响 (苏)..... Н. Я. 捷尼索夫 Б. Ф. 累里托夫 (2)
- 土的压实程度及其抗剪强度 (苏) В. Л. 卡查尔诺夫斯基 (11)
- 压实粘性土的强度 (美)..... Н. В. 西特 J. K. 米恰尔
C. K. 陈 (19)
- 土在刚性承载板压入时的蠕变 (苏)..... В. М. 基斯略科夫 (116)
- 土的流变性质 (苏)..... Н. Я. 哈尔呼达 (121)
- 修訂現行柔性路面設計方法的意見
(設計参数的討論) 林綉賢 (184)

某些物理-化学过程对土强度的影响

Н.Я.捷尼索夫 Б.Ф.紧里托夫

在解决许多重要的实际问题时，必须考虑到水对某些土的破坏作用的影响。在实验室的试验条件下，表现这种影响的最为明显的一个例子是，干燥的黄土试件当浸入水中时会迅速崩解。此崩解的产生类似于爆炸。其它粘性土试件在浸入水中时，破坏得较慢，而有时大体上不崩解。浸湿过程的持续性、试件浸在水中所造成的强度下降程度等等，这些数据可用来评断水对粘性土试件破坏作用的影响程度。

为了揭示水对土影响的实质，利用具有不同性质的液体（除水以外）进行相同的试验，是合适的。

对含水量为1.5~2%的黄土试件进行了浸湿过程的研究。试件为圆柱体形，高3厘米、直径2.5厘米。液体破坏作用的影响程度假定按十分制来评断，试件强度完全保持的得1分，而剧烈崩解的为10分。试验的某些结果，和有关所用液体的性质的资料，一併列于表中。

虽然所采用的评断液体破坏作用影响程度的指标完全是假定性的，这些表值仍然明显地证明了，在与空气和与水接触的边界上，其表面张力值与此影响程度间缺乏联系。由此可确认，试件浸于液体中所发生的破坏和强度下降与微管力的变化无关。同时也可确认，液体破坏作用的影响程度和介电常数间存在固定的关系（图1）。因为固体和液体的介电常数值之比

值，表征了它們之間的亲和程度，所以所述試驗的結果可用以証明液体对土的作用的吸附特性。

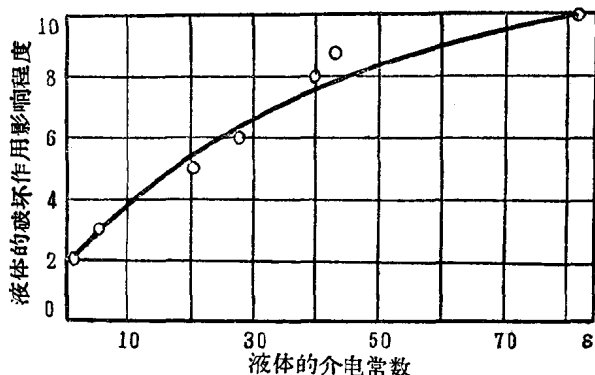


图1 液体破坏作用的影响程度与介电常数值的关系

液 体	破坏作用的影响 程度，以分計	在边界上的表面張力		介电常数
		和 空 气	和 水	
汽 油	2	21	47	2.3
乙 醚	3	17	10.7	4.3
三 溴 甲 烷	3	41.5	40.8	4.5
蓖 麻 油	3	—	—	4.6
丙 酮	4~5	23.7	0	21.4
酒 精	5~6	22	0	25.7
60%糖溶液	8	69	0	39.7
甘 油	8~9	63.4	0	43
水	10	72	—	81

表明由土粉末在风干状态制作的各种土試件，水饱和时在压密程度上的差別的試驗，可以用来作为例証。为此利用測距仪，各种粘性土粉末在其中首先以任一压力在风干状态中压实，然后用水饱和。若以 H 表示試件的初始高度， S_1 代表其

表面在风干状态中的沉降， S_2 为粉末被水饱和时发生的附加沉降，则试验结果可以附加压密指标的形式表示：

$$R = \frac{S_2}{H - S_1} 100$$

在图 2 上绘示了不同粘性土粉末水饱和时，在 2 公斤/平方厘米压力下试验所得之附加压密指标值 R 与液体的介电常数间的关系。曲线 1 相应于液限 $W_L = 25$ 的黄土；曲线 2 为 $W_L = 29$ 的黄土；曲线 3 为 $W_L = 35$ 的亚粘土；曲线 4 为 $W_L = 42$ 的第三纪粘土；曲线 5 则为 $W_L = 48$ 的第四纪粘土。试验表明， W_L 值越高，在同一种液体中的附加压密指标值越小。对某一定成分的粉末，其附加压密指标随液体介电常数的增加而增大。

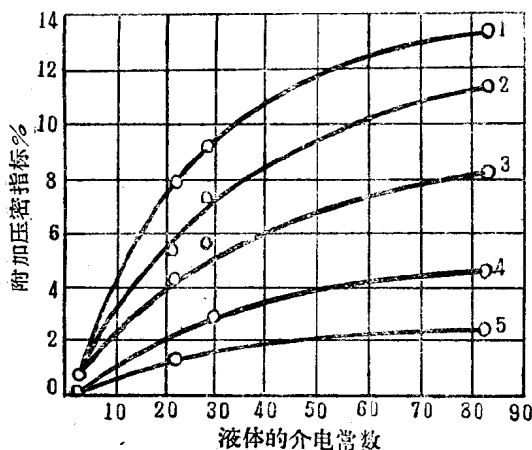


图 2 附加压密指标 R 与液体的介电常数间的关系

在上述黄土试件及粘土粉末的例子中所表征的吸附效应，很少在结构未破坏的试件中呈现出来。例如，保持天然湿度的，第四纪前的水成粘土试件，既不浸湿也不破坏，甚至能在水中保持很长时间。这些粘土放入水中时，仅在其天然状况有

了某些变化后，才膨胀和破坏。这种变化的原因之一是干燥时随带着产生收缩。观察表明，粘土较之天然状况愈干燥，它所获得的在水中膨胀的能力愈大，其试件浸湿得愈快。同样的影响出现在粘土试件处在超过其天然值的压力作用下的情况。如白垩粘土试件，在它们受到几十公斤/平方厘米压力的压缩作用后，便成为可浸湿的粘土了。在这之后，粘土获得了极大的膨胀能力。由图3可看出，在深度为20米处的白垩粘土试件，其隙比为0.975，在加荷到10公斤/平方厘米并卸载后，其体积有些增大，隙比变成1.20。

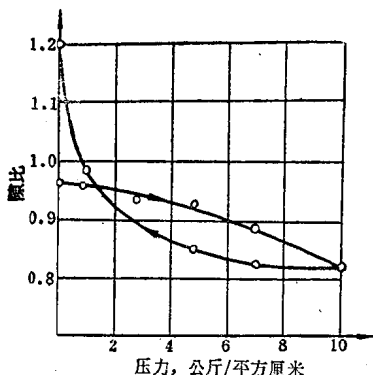


图3 阐明加荷后膨胀的白垩粘土的压缩曲线

水破坏作用的影响和粘性土天然结构破坏程度的关系可以这样来解释，即是，在天然结构破坏的过程中，颗粒接触点处变成水分子较易进入的。为了揭示这些接触点处阻截水分子的原因，应该考虑粘土在天然状况中的特性其强度较之破坏状况中的要大——敏感性指标通常大于1。

颗粒接触点对水分子的不容许其进入和粘土在天然状况中的强度增高，可以认为是由于在颗粒间存在有在粘土沉积物成岩作用的过程中产生的附加联系。这可能是因为颗粒的接触点处，出现胶结物质薄膜。所有这些可能，是由于从孔隙水中析出各种化学化合物（铁盐、碳酸钙和镁等）的结果。出现在颗粒表面上的盐膜，甚至在其厚度极小时，也能胶结颗粒。在接触点受到很大应力作用的矿质颗粒的长期接触，会伴随着产

生其晶格結点的相互渗透，以及顆粒的某种《焊接》。

在顆粒表面出現偏硅酸凝胶膜时，它能对土顆粒的胶結起重大的作用。

在人工及天然硅酸盐表面的化学反应的研究結果証明，在水的影响下，由于水解作用，硅酸盐表面层被破坏了，随之形成可溶的組份和偏硅酸凝胶。后者具有极为微小的溶解度，以薄膜的形式停留在表面，和未破坏的硅酸盐层牢固地联系在一起。被强烈水化的薄膜具有凝胶的全部特性：硬度和粘性，它們构成了不同粗度的顆粒間的粘聚力。其粘結的能力能持久地保持。在脫水作用时，薄膜变成脆性的。偏硅酸凝胶的胶結能力不仅出現在粘土中，也出現于砂中。

新浸湿的被水飽和的石英砂的这种能力，使其强度在密实度不变时也增大，这已是众所周知的。可以认为，由于在顆粒表面上水和硅土的化学相互作用所形成的偏硅酸凝胶膜的接合作用，砂顆粒間随時間而产生了粘聚力。

Б.Ф.累里托夫拟制了震动薄片的方法，它可以試驗証实在砂顆粒上存在的凝胶膜，并且評断它們对砂的剪切阻力的影响。

这方法的实质如下述。放在光滑的薄片表面上的砂顆粒，处于水平方向的和諧震动运动中，受到了剪切力的作用，其值随頻率(ω)震幅(A)的增大而增加，而在某一加速度值($A\omega^2$)时，它能超过顆粒和薄片間的粘聚力。由此发生了顆粒的脫开。表征粘聚力的动剪切系数按下式确定：

$$f = \frac{T_n}{P} = \frac{mA\omega^2}{Kmg} = \frac{A\omega^2}{Kg}$$

式中： T_n ——极限剪切力；

P ——顆粒的重量；

A ——产生顆粒脫开时的震幅；

ω ——角頻率；

K ——考虑到水的阿基米德力和正面阻力的系数。

确定动剪切系数的試驗裝置圖式，列示于圖 4。

玻璃或石英的薄片裝在 Γ -形黃銅刀架上，刀架又和機械震動的發電機 $\Gamma MK-1$ 相聯，它使得薄片可以以一定的頻率和震幅作水平方向的和諧震動。用有聲發電機 $3 \Gamma-10$ 給予震動頻率，在試驗中固定為 20 赫芝。

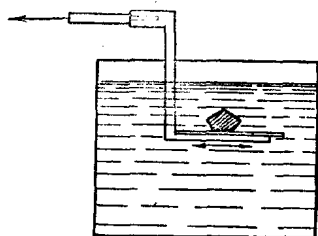


圖 4 確定砂粒粘聚力的試驗進行的圖式

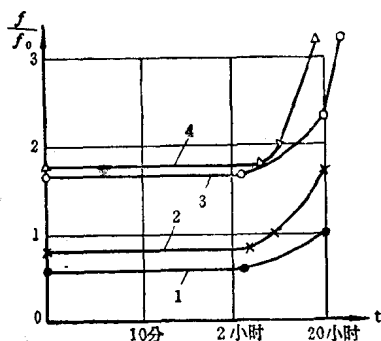


圖 5 $\frac{f}{f_0}$ 隨水影響的持續時間和顆

粒與石英薄片接觸時間的變化

1—水未預先作用；2—存于水中 42 小時；

3—存于水中 6 天；4—存于水中 14 天

按震動薄片的方法的試驗是這樣進行的：在干燥和仔細清洗的玻璃或石英薄片上放置石英砂顆粒，並確定在空氣中的動剪切係數。過一定的時間後，顆粒搬到處于水中的薄片上，並研究與顆粒和薄片間接觸的持續時間有關的變化。研究結果的數值列于圖 5。

圖中曲線表明，動剪切係數僅在薄片和顆粒位于水中的頭 6 ~ 15 天期間有重大的

的變化。這說明凝膠膜的形成過程，實際上在一定的期間結束。在表面上硅酸鹽的繼續溶解和與此相關聯的凝膠的形成，

为已形成的偏硅酸凝胶膜所阻碍。

曾在石英薄片上研究了薄膜粘結能力随其水化作用的变化。試驗証明，在室溫条件下部分的脱水作用，会使牢固联系形成以及动剪切系数增大一倍以上。相反，全部脱水作用（采用在 $t = 600^{\circ}\text{C}$ 时焙烧的办法达到）引起联系的破坏，剪切力变得和干摩阻力相等。

为了評断凝胶膜对砂的体积剪切阻力的影响，曾采用过切割土稜体的方法。具有活动側壁的稜体用砂填滿，在其上放置承载板，用以传递垂直压力。在加于稜体頂面上的剪切荷重的作用下，进行稜体的切割。

在施加剪切荷重后，立刻测定相对剪切变形 γ 。当变形的变化变成非常小的时候，取下剪切荷重并测定恢复变形。 γ 值是砂的体积剪切阻力的条件性的鑑定指标。曾研究了石英顆粒置于水中的持續時間和它們之間的接触時間对剪切阻力的影响。

采用切割稜体的方法，进行了干燥的和饱和的細粒砂，在固定的剪切荷重（0.03 公斤/平方厘米）和固定的法向荷重（0.06 公斤/平方厘米）作用下的綜合試驗。土的骨料容重为 1.43 公斤/立方厘米。試驗的結果示于图 6。这些資料証实了，在单粒砂剪切研究中所确定的規律性。

所以，所拟制的确定动剪切系数的震动薄片的新方法，可以驗證顆粒間存在着由偏硅酸凝胶膜所引起的粘聚力。

以某种方法在顆粒接触点处出現的、并保护这些地点免受水分子作用的天然胶結膜，在一定的热动力条件下是稳定的。在条件变化时，例如收縮和干燥时，在压力的影响下而压密时等等，在膜中出現裂縫和微裂縫。因此，就可能出現伴随着产生楔入压力的吸附过程。

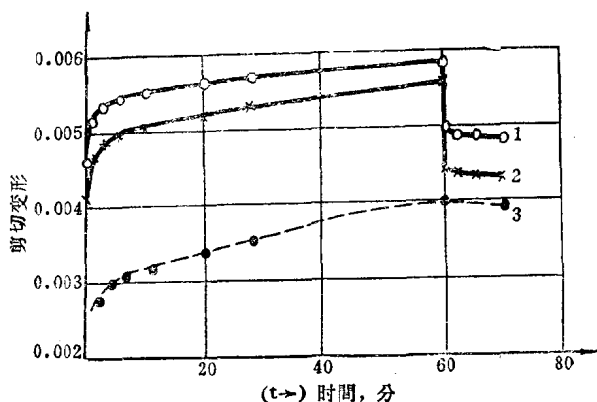


图6 砂的剪切变形随时间的变化与水作用持续时间的关系
1-干燥砂；2-直接在仪器加荷后；3-停留24小时后

根据以上所述可以认为，水对具有吸附特性的土的作用，是П.А.列别捷尔所确定的表明吸附效应对土体强度影响的局部情况。

(姚祖康译自《苏联致第五届国际土力学及地基
基础工程会议报告集》，1961年。王秉纲校)

参 考 文 献

И.В.Гребенщиков, Химические реакции на поверхность силикатов и их значение для техники, Известия АН СССР №1, Отдел техн. наук, №3, 1937.

Н.Я.Денисов, О природе просадочных явлений, Энергоиздат, М., 1946.

Н.Я.Денисов и П.А.Ребиндер, О коллоидно-химической природе связности глинистых пород, ДАН СССР, Т.54, №6, 1946.

В.А.Дуранте и С.Д.Воронкевич, Исследование структурной плотности песков, «Вестник Московского университета» №2, 1955.

Б.И.Нечаев, К вопросу о воздействии нефтепродуктов на прочность глинистых пород. Труды Всесоюзного научного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, сб.№89, 1954.

Th. Rosenquist, Physico-Chemical Properties of Soil-water Systems'. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, vol.85, №SM.2.

土的压实程度及其抗剪强度

В.Д.卡查尔諾夫斯基

目前在許多国家中，其中包括苏联，公路路堤土的要求压实程度，是按照标准压实时的最大密实度来确定的，即 $\gamma_{要求} = k\gamma_{最大}$ ，其中 k 为压实系数。

不难证明，按标准压实法求得的压实程度，仅与在試驗过程中所产生的应力有关，而与将作用在路堤中的应力没有什么联系。同时，正如 Ю.М.瓦西里亦夫十分正确地指出的^①，“确定密实度标准所依据的原則应该是，在大气因素同时作用下，由其密实度所决定的土的抗力和作用荷重間的平衡状况。”由此，日益广泛的意見是，用其它的試驗来替代标准压实法或补充它。

根据最近在柔性路面計算的領域中的工作来看，与切向应力作用有关的变形，亦即以土的抗剪强度作为其强度指标的問題，具有特殊的现实意义。

本文提出了，从抗剪强度的观点出发来确定合理的压实程度这一方面的最近研究成果。由于最近在柔性路面計算的領域中的工作（即采用了土的抗剪强度作为强度指标），使所得的資料具有理論上和实用上的价值。

由分析許多科学工作者最近在不同道路上进行的无数觀測

① И.Я. Хархута, Ю.М. Васильев, Р.К. Охрименко. «Уплотнение грунтов дорожных насыпей». Автогосиздат, 1953.

証明，路面可能工作在弹性-粘滯性阶段，也可能工作在弹性-粘滯性-塑性阶段^①。在第一种情况，残余形变可能产生在修筑后的第一阶段中路面結構层材料压实的情况下。压实结束后，行車荷重引起的形变具有可恢复的特性——成为弹性-粘滯性的。在第二阶段，残余形变是由于路面某結構层的材料从受荷面积下向两侧塑性挤出。

如所周知，路面在超过允許的相对垂直形变时便破坏了^②，所以鋪砌层的破坏可能发生在弹性-粘滯性工作阶段中，也可能在弹性-粘滯性-塑性工作阶段中。然而，不同阶段的破坏原因是有原則上的区别的。如果路面在弹性-粘滯性阶段的破坏是由于法向（压缩）应力引起的，則在作用于最危险面上的切向（剪切）应力的影响下出現弹性-粘滯性-塑性阶段的破坏。因此，如果在第一阶段工作的計算应该按法向应力来进行，則在作第二阶段工作的計算时，还必须考虑到切向应力的作用。

为了足够精确地确定从弹性-粘滯性阶段过渡到弹性-粘滯性-塑性阶段的条件，必須考虑切向应力的作用以保証路面在第一个阶段（即弹性-粘滯性阶段）工作。

为此，任一結構层中（包括下臥土层）行車荷重作用的结果，在考虑到所有的不利因素时，不超出其抗剪强度。

以抗剪强度表征的土的强度，很大程度上取决于其压实程度和含水量。应该指出，許多剪切方面的研究还主要是对完全饱和的土进行的，而且結構被破坏的試件是通过固結（从相当

① М. Б. Корсунский, А. М. Кривиский. К вопросу о схемах расчета нежестких дорожных. сб. «Исследование прочности дорожных одежд». Автограницдат, 1959.

② Н. Н. Иванов и др. Проектирование дорожных одежд. Автограницдат, 1955.

于液限的含水量开始^①)的方法来压实的。这个方法与工程结构物基础中天然土的工作条件相符合,但是显然这些研究成果不能机械地搬用于未完全饱和的人工压实的路堤土的情况。

作者曾对莫斯科近郊的亚粘土,测定了不同含水量和压实程度时的抗剪强度。这种土的实验室分析数据列于下表。

粒 徑 組 成			塑 性			最佳	最大	比重
2~0.05 毫 米	0.05~0.005 毫 米	<0.005 毫 米	上限	下限	塑 性 指 数	含水量	密实度	
27.1	52.8	20.1	33.4	24.1	9.3	19.2	1.72	2.71

按B.M.別茲露克的道路土壤分类,这种土应属于輕粉质亚粘土,而按塑性指数分类,则为亚粘土。

取来的土中添加为获得已知含水量而算得的水分,并拌和之。为了使水分均匀分布,将土放在其下部被水饱和的干燥器中一昼夜。次日,将具有已知含水量的土称量,放入預压仪器的套筒中,在压力机上大約于2~5秒钟内压实到一定容积。此时,在压实过程中土的含水量实际上未改变。压实后的試件放在馬斯洛夫-卢里仪中在不同法向荷重下剪切,而且最大的法向荷重不超出1.5~2.0公斤/平方厘米。剪切荷重按0.05公斤/平方厘米逐級施加,而不待前一級荷重施加后的形变完全停息。

图1表明了按試驗結果繪制的含水量为13.7%和19.2%而密实度不同时的抗剪强度与法向荷重間的关系。对于别的含水量,它們具有类似的特性。在图2和图3上繪示了摩擦角和粘聚力与含水量和密实度的关系。

① Н.Н. Маслов. Условия устойчивости склонов и осыпей в гидро-энергетическом строительстве. Госэнергоиздат, 1955.

所得之关系可以作出这样的結論，土的抗剪强度取决于含水量、密实度和法向压力，而取决于含水量的土的內摩阻角，則随含水量的增大而降低。如图 2 所示，提高含水量超过 10~12%，会导致內摩阻角急剧地减小。同时，該土的內摩阻角在該含水量值时，与压实的程度无关，如图 1 所示。

这个結果可能是由于在試驗条件下，固定含水量时，压实程度的增大并不增加每一对彼此相对剪切的顆粒（亦即其接触面位于剪切面內的顆粒）之間直接接触点的数目，而仅增加在剪切面內有接触的顆粒的对数，这本身不應該算作是《眞》摩

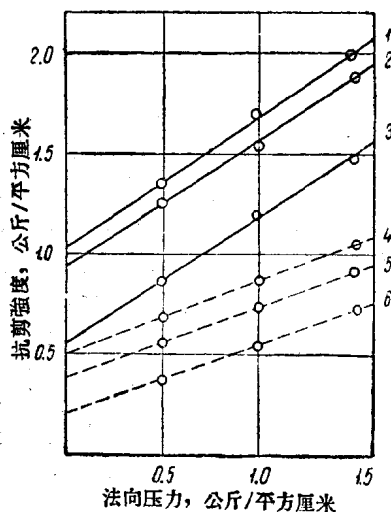


图 1 土的抗剪强度与法向压力的关系
 1- $\gamma_0=1.76$ 克/立方厘米； 2- $\gamma_0=1.67$ 克/立方厘米； 3- $\gamma_0=1.59$ 克/立方厘米；
 4- $\gamma_0=1.70$ 克/立方厘米； 5- $\gamma_0=1.52$ 克/立方厘米； 6- $\gamma_0=1.34$ 克/立方厘米

实线为含水量-13.7%， $\varphi=32^\circ$ ；

虚线为含水量-19.2%， $\varphi=20^\circ$

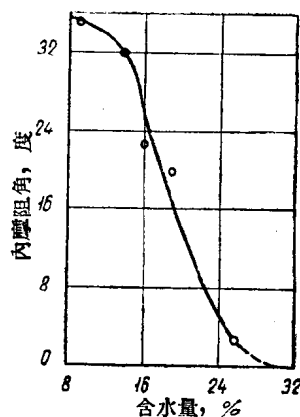


图 2 內摩阻角与含水量的关系