

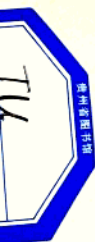
建筑工程情报资料

第8446号

内部资料

# 出国参观考察报告

——匈牙利房屋建筑地基基础处理技术——



中国建筑技术发展中心建筑情报研究所

一九八四年十月

## 前 言

根据中、匈科学技术合作协定,城乡建设环境保护部房屋建筑地基基础处理技术考察组一行三人于1983年11月11日至11月28日在匈牙利进行技术考察,考察重点是房屋建筑软弱地基的处理技术、基础工程施工机械及地基土的实验室和现场测试技术。匈方主要接待单位是建筑与城市发展部所属测量与岩土工程公司。考察组共到了四个城市,考察的主要单位是测量与岩土工程公司。建筑科学研究院、布达佩斯工业大学岩土工程教研室、道路及铁路工程公司、管道及地下工程公司、绍耳果托里安投资开发公司、塞格特市建筑工程公司、贝奇市投资开发和建筑工程公司和布达佩斯建筑机械厂等九个单位。现将考察内容做了专题总结,供参考。由于参观考察时间较短,加之我们的水平所限,不当之处,请批评指正。

城乡建设环境保护部

赴匈地基基础处理技术考察组

于吉求 蔡体发 彭慧贤

# 匈牙利房屋建筑地基基础处理技术

## 一、概 况

匈牙利位于欧洲中部,大部分国土为平原是丘陵地区,主要河流有多瑙河和蒂萨河,位于西部的巴拉顿湖是中东最大的淡水湖。南部大盆地第四纪沉积厚达4000米,在巴拉顿湖周围和多瑙河沿岸分布有泥炭土和淤泥质软粘土,在这些地区常采用深基础。在丘陵地区分布有膨胀性粘土,常有滑坡出现,由于旱季和雨季气温变化和土中含水量变化,常引起粘土膨胀和收缩;有时膨胀压力可达 $2.0 \sim 3.0$ 千克力/厘米<sup>2</sup>,常使荷载小的房屋产生较大的不均匀变形。在东南部相当一部分国土上,还有很厚的湿陷性黄土,也易产生不均匀沉降和滑坡现象。象全国大部分地区的地下水无侵蚀性,个别地区地下水有碳酸盐侵蚀。

由于建筑业发展较快以及工程地质条件比较复杂,匈牙利比较重视土力学和基础工程方面的研究工作,并且较多采用深基础,这方面的主要设计和研究单位是早在1950年建立的匈牙利测量与岩土工程公司。建筑科学研究院设有专门的地基基础研究室,这方面的研究工作由承重结构和地下工程研究室承担、布达佩斯工业大学的岩土工程教研室正在土力学、基础工程、地下结构和土方工程等四个方面进行专门的理论和实验研究。道路及铁路工程公司和管道及地下工程公司是从事基础工程和地下工程的专业施工公司。

近年来匈牙利的建筑业取得了较显著的成就,上部结构向标准化和工业化方向发展促进了基础工程施工机械化,采用深基础

的比例也不断增大,住宅小区装配式大板结构房屋承重墙的桩基础已采用标准化的桩基承台。

据介绍,匈牙利整个基础工程中深基础约占30%,而深基础中预制钢筋混凝土桩又约占55%,现浇弗兰克(FRANKI)桩约占35%;其它型式的深基础如地下连续墙、贝诺托(BENOTO)桩等占10%,深基础的造价大概占房屋总造价的10~15%。

## 二、关于房屋建筑软弱地基的施工技术

在匈牙利,为了提高基础工程的综合机械化水平而大量采用深基础。采用各种类型的桩基础以及地下连续墙基础,不仅是为了解决各种技术难题,而且也是为了加快基础工程施工进度,减少现场用工,减轻劳动强度,从而降低工程造价。因此,他们碰到软弱地基通常是采用桩基础,仅管道与地下工程公司一个单位的统计,近20年内就施工了八十四万五千米桩基工程,除大量采用长5~12米的 $30 \times 30$ 厘米的预制钢筋混凝土桩外,现浇弗兰克桩也获得了广泛应用,而且已有20多年的使用经验,大多采用KPF-22型波兰制造的设备(图1)。这种桩的直径一般为60厘米,根据实际需要,桩径可换成 $\phi 40$ 厘米或 $\phi 80$ 厘米,这种设备的一个特点是机架可较方便地改装成打桩机架。

弗兰克桩属于现场浇灌扩大头桩,其施工过程大致是:先用一柱状冲锤将下端填有干混凝土的套管冲入地下至所需深度处,然

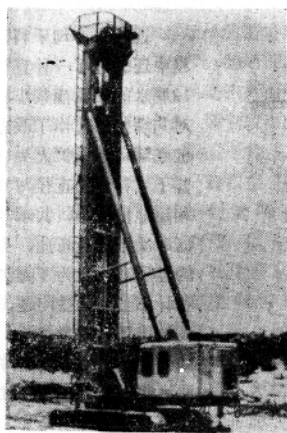


图 1 弗兰克桩架

后冲击形成扩大头、放置钢筋笼和浇灌桩身。冲锤一般重3吨，落高10米，桩身混凝土设计标号一般为200<sup>#</sup>，有时实际达到的标号要大得多，其施工工艺如图2所示。

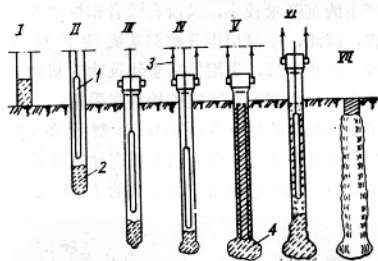


图 2 弗兰克桩施工工艺

I—VII—工艺流程；1—冲锤；2—干混混凝土；  
3—提升套管的绳索；4—扩大头。

由于这种桩的混凝土是冲击成形的，其密实度高，质量好，因此可在具有侵蚀性地下水地区采用。在匈牙利，这种桩的承载力一般采用140吨。实践证明：这种桩是经济有效的，但应考虑施工过程中的冲击作用对周

围建筑物的影响。他们有时还采用多处扩大的弗兰克桩，据匈牙利建筑科学研究院在室内模型试验槽中对模拟比为1:4的弗兰克桩所作的研究试验表明：在中密细砂中，两处扩大头桩的承载能力可提高30%。

在复杂工程地质条件下建造高、重建筑物时，从1959年起在匈牙利就开始采用贝诺托桩，所用设备是从法国引进的(图3)。这种设备可在各种土质和气候条件下工作，它兼有旋转、冲击和冲抓多种功能，其桩径一般为88厘米，这种大直径现浇混凝土桩通常具有很高的承载能力。在匈牙利对这种桩做过一次静荷载试验，当加荷至760吨时，桩身首先破坏。在实际工程中，其承载能力一般采用200吨，分担到单位面积承载力上的造价还是比较低的。



图 3 “贝诺托”桩架

此外，在匈牙利的工业与民用建筑工程中，曾较多地采用过一种灌浆扩大头桩，这种桩有予制的，也有现浇的，其特点是在一般予制或现浇钢筋混凝土桩的中心部位安设一根灌浆用的钢管，当桩达到预定深度后，便可通过钢管把水泥浆或化学溶液灌到桩尖下面的土中，形成加固扩大头，如图4和图5所示。这种桩适用于桩尖处是砂性土的地

区，其承载力比普通钢筋混凝土桩要高得多。

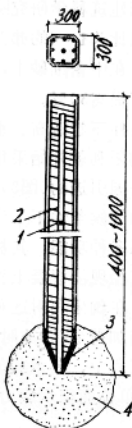


图 4 预制钢筋混凝土灌浆大头桩

1—灌浆管；2—预制桩；  
3—钢桩靴；4—加固土体。

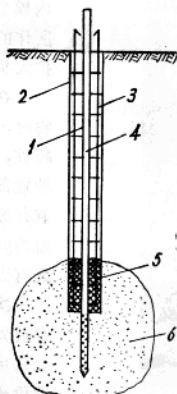


图 5 现浇钢筋混凝土灌浆大头桩

1—现浇桩；2—套管；3—钢筋骨架；  
4—灌浆管；5—地下水水位下增设的混凝土塞；6—加固土体。

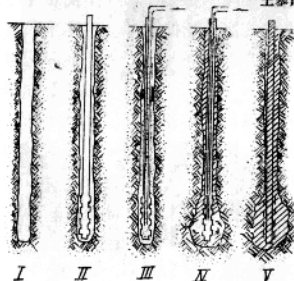


图 6 钻孔灌浆小桩的施工工艺流程



图 7 波克兰设备

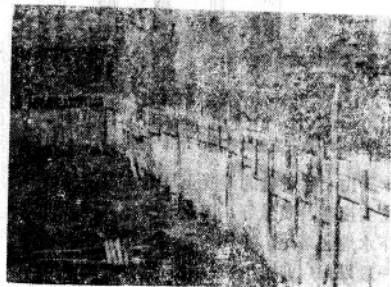


图 8 预应力锚杆

近年来，匈牙利建筑工程中还引进了一种直径 8 ~ 12 厘米的钻孔灌浆小桩，并对其灌浆工艺作了改进，在桩底部可形成扩大头(图6)。鉴于这种桩的直径与其长度相比显得很小，其承载能力既取决于桩身弯曲，也与土的性质有关。为了弄清理论和计算上的一些问题，对这种桩作了静荷载试验，群桩静荷载试验结果表明：由钻孔灌浆小桩组成的群桩基础的承载能力可以提高。

在匈牙利，十多年来，已广泛采用地下连续墙基础，对地下连续墙的设计和施工都有相当经验，由于这种基础的几何尺寸(深度和宽度)容易控制，施工方法比较简单以及可能产生的沉降量较小，又没有噪音和振动等危害，因此，不但用作开挖深基坑的护壁支撑、防水围幕，也用作高重建建筑物的基础。现浇的和预制的地下连续墙都在采用，一般用法国制造的波克兰(Poclain)型设备(图7)，用抓斗进行开沟。当在原有建筑物近旁用地下连续墙基础兼作深基坑的护壁支撑

时,也有与土中予应力锚杆(图8)联合使用的。据介绍,予制的地下连续墙的造价约比现浇的高一倍,但在地下建筑物(如地铁、隧道等)的使用过程中,墙面要露在外面时,则可采用予制的地下连续墙,固它较平整美观。但地下连续墙基础造价要高于桩基。

在匈牙利,桩的承载力一般根据土的物理力学指标计算确定,但很重视静荷载试验,没有采用动测方法。据介绍,以前全国每年要作100—150根桩、20~25片地下连续墙的静荷载试验。目前,每年还保持80根桩,10片地下连续墙的静荷载试验。匈牙利很重视勘测与试验资料的汇总与分析整理工作,目的是逐步减少试验工作量。如测量与岩土工程公司到目前为止已收集汇总了全国各地2000根桩的静荷载试验资料,期中95%是该单位自己作的试验,根据土质条件和桩的类型,进行了科学的整理分类,并编制了分布图,以供实际工程参考使用。

近年来,匈牙利对利用静力触探资料来

确定单桩承载力进行了研究,他们的研究,试验表明:在饱和度大于85%的粘土和亚粘土中,静力触探的贯入阻力随稳定时间而急速减小,他们按照苏联标准测出稳定贯入阻力,即探头贯入到某一深度后停止贯入,测定贯入阻力随时间的变化,取停止贯入后二分钟时的贯入阻力作为稳定贯入阻力。测量与岩土工程公司1981年对51根30×30厘米的钢筋混凝土予制桩用静荷载试验测定的承载力与由静力触探的稳定贯入阻力计算的承载力做了对比,两者之间有下列关系:

$$P_{Pr} = C \cdot P_s$$

式中:  $P_{Pr}$ —桩的静荷载试验曲线上的荷载值(千牛顿);

$P_{sz}$ —由静力触探资料计算的承载力(千牛顿);

$c, n$ —无因次系数。

表1给出了系数 $c, n$ 的数值及相应的相关系数 $r$ 值。表1的数据说明,由静力触探资料能较可靠地估算出钢筋混凝土打入桩的承载力

表1

|               |             |             |             |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 对应于比例极限的荷载    | $C = 2.176$ | $C = 1.808$ | $C = 4.681$ | $C = 2.736$ |
|               | $n = 0.876$ | $n = 0.904$ | $n = 0.757$ | $n = 0.841$ |
|               | $r = 0.96$  | $r = 0.96$  | $r = 0.97$  | $r = 0.97$  |
| 对应于下沉量为6毫米的荷载 | $C = 27$    | $C = 25$    | $C = 53$    | $C = 33$    |
|               | $n = 0.51$  | $n = 0.52$  | $n = 0.45$  | $n = 0.49$  |
|               | $r = 0.96$  | $r = 0.86$  | $r = 0.84$  | $r = 0.89$  |

能力。

处理桩基事故的一个实例。为某框架结构房屋施工好的直径52厘米的现浇灌注桩的承载力未达到设计要求,由于客观原因,只能在已施工的灌注桩旁边补打30×30厘米的钢筋混凝土予制桩,因而出现了在同一承台下有两种不同的桩,问题是要确定有两种不同的桩的刚性承台下各个桩上的荷载分配情况,为此,利用了已知的予制桩和现浇桩的静荷载试验典型曲线,即把单桩静荷载试验的

$p-s$ 曲线看作抛物线,在30~70吨的荷载范围内两种桩的荷载 $P$ 与沉降量 $S$ 之间的关系分别为:

$$S_{予} = 0.00093 P_{予}^{\frac{3}{2}}$$

$$S_{现} = 0.00340 P_{现}^{\frac{3}{2}}$$

在同一刚性承台内,现浇桩和予制桩只能有相同的沉降量,即必须满足 $S_{予} = S_{现}$ 的条件。又假定同一承台下同一种桩承受相同荷载,因此可以解出这个有二个未知数的方程组,求得两种桩分别承受的荷载。

关于地下连续墙基础承载力的确定。设计者常采用卡柯—凯理译 (Caquot-Kerisel) 理论或别列赞采夫 (Березанцев) 理论来计算地下连续墙基础的承载力, 在匈牙利则常采用凯兹迪 (kezdi) 的理论, 但是实践证明, 这些充分考虑了端阻力的桩基承载力理论, 对地下连续墙基础不适用, 为此, 布达佩斯工业大学岩土工程教研室收集了匈牙利各地300片地下连续墙基础的静荷载试验资料进行了统计分析, 其中在某些被试验的地下连续墙基础内埋设了应力测量元件, 以便在加荷过程中将侧摩擦力和端阻力区分开。试验结果证明: 在所谓“标准荷载”范围内, 大部分情况下, 侧摩擦力起了决定性作用, 而端阻力实际上可忽略不计, 这是由于或者泥浆的沉淀、或者开沟工具的松动、或者浇灌混凝土的事故, 使沟底有一松软层。顺便指出, 我国深圳特区某些大直径混凝土钻孔灌注桩, 经抽心检查, 也曾发现桩底部有松软层的情况。

统计分析时, 将所收集的试验资料, 根据土质条件分成若干个子样本, 分别求出各种土质条件下计算地下连续墙基础承载力的统计经验公式, 供设计使用。

例如, 对两侧和端部都是粘性土的情况, 其承载力  $Q$  为:

$$Q = \alpha AS^{0.75} \quad (1)$$

式中:  $A = 27.38K - 230$ ;

$$B = -0.184 \ln K + 11.2$$

$$C = -0.0785 + 0.0125 \ln (5.65 \ln K - 2.9)$$

$S$ —相当于上部结构所允许的沉降量 (毫米);

$K$ —侧表面积 (米<sup>2</sup>)。

修正系数  $\alpha$  取决于土的状态, 对于软粘土:  $\alpha = 0.67$ ; 可塑及硬塑粘土:  $\alpha = 1.0$ ; 坚硬粘土:  $\alpha = 1.4$ 。

他们认为, 采用这些统计经验公式设计的地下连续墙基础比采用理论公式更符合工程实际情况。

上面所列举的各种桩基础和地下连续墙基础是匈牙利房屋建筑中常用处理弱软地基的施工方法。目前我国和国际上均比较流行的强夯法、振冲法、搅拌桩法和旋喷桩法等软弱地基处理方法, 在匈牙利未见使用, 化学处理方法, 因造价较高, 较少使用, 在继续研究改进。

为了找到一种经济合理的基础形式, 测量与岩土工程公司和南方建筑工程公司合作研究成功一种“塞式基础”, 这种新型基础已取得匈牙利专利权。由于匈方强调向我方出售转让专利, 这次考察我们没有得到关于这一新技术的任何文字资料, 在正式交谈中, 匈方只向我们作了极粗略的介绍, 在现场参观操作表演时, 也未让我们拍照和接近设备的关键部位, 只让我们从较远的角度看完了一根桩的全部施工操作过程。根据现场观察和简单介绍, 这一方法的原理、工艺和设备可大致概括如下:

这种“塞式基础”是一种由浅基到深基的过渡形式, 实际上是一种新工艺的大直径就地灌注混凝土桩, 使用的主要设备是: 混凝土泵车、液压马达、液压挖掘机和螺旋钻。除螺旋钻外, 其余各项设备均系通用产品, 螺旋钻就像是一根锚桩, 如图9所示。各设备之间的联接如图10所示, 其大致工艺流程 (见图11) 是: 在要浇灌桩基的地点, 将一根钻杆直径15~20厘米、长5~6米、下端有螺旋钻头的螺旋钻, 用液压挖掘机提起, 借液压马达的扭力将它拧入地下所需深度处。液压马达连接在液压挖掘机臂架端部螺旋钻杆上端又与液压马达相连接。螺旋钻头的直径可根据需要选用, 目前他们有直径60、80和100厘米的三种, 螺旋钻头的侧面有一对梯形刀片, 往下钻时可将土柱周边切断。在钻杆部焊有一斜叉管, 混凝土由此下料管灌入。在空心钻杆下端壁上有两个椭圆孔, 混凝土由此压出。往下是圆锥钻头, 其直径比钻杆略大, 并在钻杆底部与钻头之



图 9 螺旋钻示意图

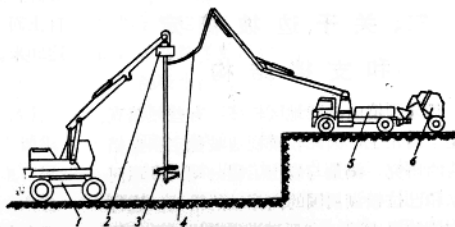


图 10 “塞式基础”施工设备示意

1—液压挖掘机；2—液压马达；3—螺旋钻；4—橡胶软管；5—混凝土泵车；6—混凝土搅拌运输车。

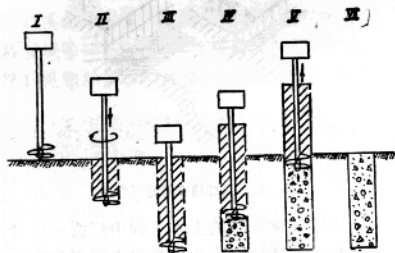


图 11 “塞式基础”的工艺流程示意

形间成间隙，便于混凝土被压出。当螺旋钻拧到预定深度后，通过混凝土泵送车的泵送的橡胶软管，在 $20 \sim 25$ 千克力/厘米<sup>2</sup>的压力作用下，将细石混凝土压至螺旋钻头下土与钻头的间隙处，同时，将螺旋钻和钻头以上的土柱一道往上顶，然后混凝土泵的压力逐渐减小至 $2 \sim 3$ 千克力/厘米<sup>2</sup>，这样，边压进混凝土，边往上顶，边清除被顶出地表的土柱，直至螺旋钻头与其上的土柱全部被顶出地面为止，这时在地下便形成一根直径与螺旋钻头直径相等的混凝土桩，然后在桩中心部位迅速插入钢筋骨架，由于混凝土塌落度大、施工速度快，钢筋骨架较易插入。因为土柱从下往上被顶出地面的工艺过程类似打开瓶盖，故取名“塞式基础”。施工一根这种桩只需 $15 \sim 20$ 分钟，可节约造价 $30\%$ 左右。

此法适用于上部土层较软弱， $4 \sim 6$ 米深度处有较好持力硬层的地质条件，一般可在开挖好的基槽内施工，其主要优点是：

1) 桩孔内的土柱系由高压混凝土自下而上顶出地面，不要预先钻孔，不用套管和泥浆护壁，因而比一般钻孔灌注桩施工操作简便、速度快；

2) 由于开始作用有 $20 \sim 25$ 千克力/厘米<sup>2</sup>的压力，桩底土被压密加固，孔底不会残留虚土，可增大桩的端承力。在高压混凝土作用下，桩周土也得到适当挤密加固，桩侧摩擦力增大，因而整个桩的承载力可有较大提高；

3) 由于混凝土是在一定压力作用下浇灌的，上面有土柱压住，混凝土浇灌密实、质量好，不会产生塌孔断颈、缩颈等事故；

4) 可在高地下水位和复杂软弱的土质条件下施工，不会产生塌孔，且没有噪音和振动干扰。

这种基础原理清楚，思路新颖，是一种比一般混凝土钻孔灌注桩更好的新的成桩工艺，也比较适合我国国情，但目前匈牙利还没有专用成套设备，如他们采用的一般混凝土泵车在我国虽然也有良好的应用前景，但目前还难于大量推广，且对一般较小工程也不经济，另外，这种桩的应用范围还有较大局限性，需作进一步研究。

### 三、关于边坡稳定和支挡结构

匈牙利境内丘陵地区较多,有些城镇直接建于山丘上,因此较重视边坡稳定和支挡结构的研究。测量与岩土工程公司对多瑙河沿岸和巴拉顿湖周围的高岸坡的滑坡,进行研究的结果表明:多瑙河沿岸高岸坡滑坡的原因主要与多瑙河水位上升有关。因此,巴拉顿湖周围高岸坡的滑坡,也与当地水文地质条件密切相关。除采用一般传统的滑坡整治措施外,他们还注重在滑坡体的上半部钻孔抽水来降低水位和减小土中含水量,这样既可提高土的抗剪强度,又可减轻滑动土体的重量,被认为是一种经济有效的整治措施。

测量与岩土工程公司对近年来在匈牙利出现的挡土墙事故进行了调查分析,结果表明:在粘性土地区的挡土墙事故较多(48%),出现事故的时间在春天和秋天是大致相当的,但是由于事故造成的实际损失往往比挡土墙本身的造价要大得多。因此,近年来很重视研究经济有效的新型支挡结构,锚杆挡墙和加筋土等轻型结构就是其中的二种。一种多级的锚杆挡墙已在若干工程中使用过,效果较好,其造价可比传统的重力式挡土墙节约35%左右,更重要的是可以减少土方工程量和节约用地。这种挡土墙的面板可作建筑处理,美化环境,在匈牙利采用过十字形面板。

这种挡土墙的土压力不是作用在整个挡墙上,而只是作用在单独的锚固件上,每个锚固件上的土压力靠锚杆产生的摩擦力传至土体,这种挡土结构对位移不敏感,而且还希望能产生少量位移,以便在锚杆表面形成摩擦力和出现主动土压力。基于美观上的考虑,使挡土墙面板在允许变形范围内不被察觉,他们将平面墙板改成曲面板,效果较

好。在挖方区,这种锚杆挡墙的施工顺序是自上而下分级施工(见图12),最大高度可达20米。

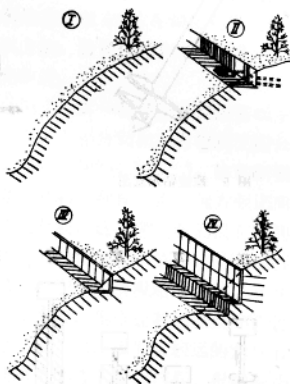


图 12 锚杆挡墙的施工顺序

由于在匈牙利的土木工程中广泛应用土中锚杆,布达佩斯工业大学岩土工程教研室对这种技术进行了多年的研究,结合地下铁道工程作了大量锚杆试验,埋设了应力量测元件,对加荷全过程中锚固力的大小和分布进行了量测,试验完后还进行了长期监测,对影响锚固力的主要因素进行了分析。试验结果表明:为使剪切强度充分发挥所需的位移值与土的种类和初始密度有关,在砂性土中,沿锚固段的剪切强度值主要取决于砂土的相对密度、颗粒级配和灌浆压力,并且认为:在砂性土中,根据常规室内试验提供的土性指标计算确定的锚固力是不可靠的。

自从六十年代提出加筋土作为一种新型支挡结构以来,各国相继研究采用,其应用已遍及工程建筑许多方面,匈牙利建筑科学研究院也在这方面开展研究和服务。加筋土支挡结构与传统的重力式或锚杆式支挡结构不同,重力式挡土墙是靠自重来抵抗墙后土压力。锚杆式挡土墙是通过插入稳定土体的

锚杆与土的摩擦力来达到平衡。加筋土则是由拉筋、墙面板与填土相结合的组合材料。土具有相当大的抗压和抗剪强度，而抗拉强度甚小，其力学性质可以采用具有一定抗拉强度的各种埋设物（杆、带或膜）来改善。在土中加各种拉筋或土工织物（又称大地织物或土工布）这两类加筋土在匈牙利也在研究应用。金属条带作为拉筋材料在各国已普遍采用，问题是研究采用有效的低价代用材料，我国在试验采用带筋材料，匈牙利建筑科学研究院正在研究采用材料或尼龙网格和条带来代替以往加筋土中的金属材料，正在实验室对多种规格的塑料尼龙网格进行蠕变试验，并筑了试验性挡墙，如图13所示。图14是塑料带加筋挡墙，薄混凝土墙面板用

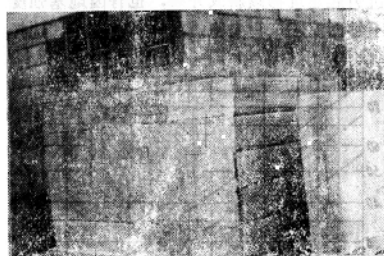


图 13 试验性挡墙

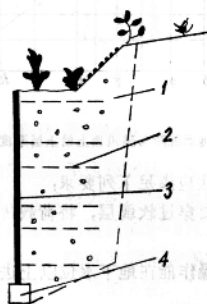


图 14 塑料带加筋挡墙

1—回填土；2—加筋带；3—混凝土面板；4—基础，

埋在填土中的窄塑料条固定。采用这种轻型支挡结构建造4米以下的挡土墙是经济有效的，某些参考数据如下：

混凝土： $0.06\text{米}^3/\text{米}^2$ ；

塑料： $8\sim 12\text{米}/\text{米}^2$ ；

两个工人的产量： $3\sim 6\text{米}^2/\text{天}$ 。

土工织物既可加速软土地基水平方向排水和提高下卧土层的承载力，又可用来稳定边坡土体，保护细粒土不致流失。用匈牙利国产尼龙网格建筑的加筋土挡墙目前还只限于4米以下的高度。匈牙利已有二个工厂生产土工织物，其厚度有2~5毫米多种，价格与厚度有关、每平米约25~125福林（折合人民币1.2~6元）。我国加筋土支挡结构也处在研究采用低价代用材料阶段，也有工厂在生产土工织物。由于加筋土结构具有下列明显优点，其应用范围将会不断扩大。

1. 由于结构轻型化，较传统结构型式可节省大量材料，降低造价，具有明显的经济效益。

2. 由于加筋土支挡结构是直立的，无需放坡，可节约用地。

3. 加筋土是一种装配式挡土结构，填土与安装面板可同时进行，可加快施工进度。

4. 结构简单，易于设计和建造，且墙面板可进行建筑处理，美化环境

## 四、补救受地下洞穴威胁的城镇和已建房屋基础事故处理

匈牙利某些城镇历史上有过繁荣时期，如今工商业仍很发达，但城市地下有很多洞穴，这些洞穴曾用来贮存葡萄酒，在上土耳其占领时期，用来躲避敌人，后来又在地下取砂作建筑材料，因此，这些地下洞穴的形状和面积各不相同，分布也无规律，有的在房屋底下，有的在街道或广场底下，一般截面积为 $6\sim 15\text{米}^2$ ，长 $30\sim 40\text{米}$ ，在地表以下 $6\sim 20\text{米}$ 深处，而且是在不同的标高上，如图15

所示。洞穴总数达4500个，总长达250千米，占空间300万米<sup>3</sup>。

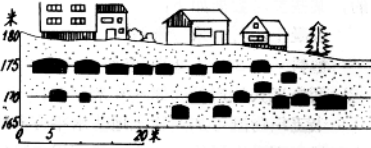


图 15 不同标高上的地下洞穴

由于近代建筑数量增加、重量增大，交通运输频繁，工业与生活用水渗漏，以及地下洞穴本身年久失修，因而引起房屋建筑基础沉降变形，道路沉陷，危及城市安全，因此，在七十年代初，匈牙利政府决定拨款整治。为此进行了大量工作，勘察查明洞穴数量、位置、工程地质和水文地质条件，调查地面建筑物状况，拟定整治方案，最后进行设计和施工。基本上采取了两类处理办法，对漏水严重、稳定性差的洞穴，采取回填灌浆、堵死洞穴的办法来消除地层沉降变形。对于没有渗水、稳定性好的洞穴，用衬砌灌浆加固修复，供作地下博物馆、地下餐厅等各种用途。这一工作进展顺利，成绩显著，考察时，我们在贝奇市见到利用这些洞穴改建的地下餐厅、地下商店、地下博物馆和地下仓库，都装修得既美观又适用，给人留下深刻印象。

在城市建造地下铁道时，重要任务之一是控制地面沉降不至引起地表建筑物的破坏。布达斯工业大学岩土工程教研室对用盾构法施工的地铁双孔隧道的地面沉降的主要因素进行了研究，即对土的状态、施工工艺和隧道结构的影响作了测量，得出结论如下：

若施工时地下水位没有变动以及隧道顶上粘土层的厚度大于隧道的半径 ( $h_0 > \frac{D}{2}$ )，则建造在粘性土层中的地铁隧道以上的饱和砂土层的性状像是体积不变的重物，随着粘土层的变形而下沉。对建造在较软粘土中的

双孔隧道，既使两隧道轴线之间的距离B相当大 ( $B = 3D \sim 4D$ ,  $D$ 是隧道直径)，实际量测资料表明，两者之间仍然有相互影响，粘土复盖层厚度增加与地表下沉量减小的关系很明显，下列统计经验式可用来预测地面沉降量 (见图16)：

$$S_0 = \frac{271}{h_0}$$

式中： $S_0$ —地面下沉量 (毫米)；

$h_0$ —隧道顶上粘土层的厚度 (米)。上式适用于  $h_0 = 3 \sim 20$  米的情况

已建房屋基础事故处理：

由于勘探工作不细、设计不当或者施工质量不好，都有可能使已建房屋建筑基础出现事故，这些事故一般表现为地基不均匀下沉引起建筑物倾斜或开裂，也有因地基强度不够而使建筑物失稳。在这种情况下，选择

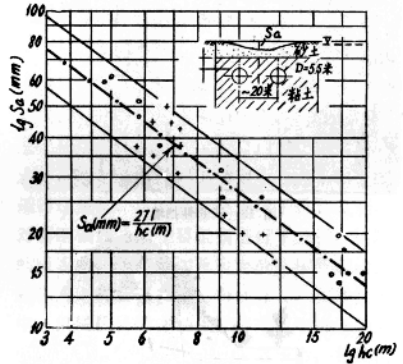


图 16 地面沉降与隧道顶上粘土层厚度之间的关系

的补救方法应满足下列要求：

1. 基础要穿过软弱层，将荷载传至较好的持力层；
2. 施工操作能在地下水位以上进行，且不能降水；
3. 操作过程对建筑物无有害影响；
4. 加固后基础能立即可靠地承受荷载，且

不至产生不允许的沉降；

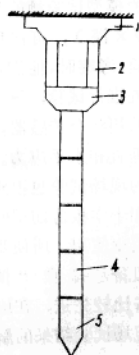


图 17 静压桩的结构

- 1-传桩块；2-支撑；  
3-桩头；4-桩身；  
5-桩尖

5. 加固经费是该房屋造价的某一个适当比值。

采用静压桩来加固已建房屋基础能满足上述所有条件。所谓静压桩，就是在要补救的基础底面下，挖一个工作坑，并作好支撑，然后利用已有建筑物的自重，用千斤顶将桩逐节压入至所要求的深度，最后使基础承托在被压入的桩上，这种桩的结构如图17所示 其压入过程如图18所示。

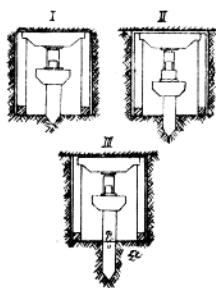


图 18 静压桩的施工过程

在匈牙利采用这种方法，他们对2~4层房屋基础加固试验表明：静压桩的加固造价一般是已建房屋总造价的2~6%。我国冶金建筑科学研究总院在芜湖市少年宫的地基事故加固中，采用过类似方法。

静压桩的设计：

在设计静压桩加固已建房屋的基础时，

需要对房屋的结构作详细研究，承要墙状态对静压桩的容许荷载和最大静压力都有影响。静压桩的计算主要是确定三个值：桩的容许荷载 $P_M$ ；静压力 $P_S$ 和桩的极限荷载 $P_H$ 。它们之间的关系为：

$$P_M \geq P_S \geq P_H.$$

桩的容许荷载 $P_M$ 由下式确定：

$$P_M = P \cdot t$$

式中： $P$ —承要墙的容许荷载（吨）；

$t$ —桩的间距（米）。

静压力 $P_S$ 由下式确定：

$$P_S = P_M \cdot n = P \cdot t \cdot n$$

式中： $n$ —安全系数。

静压桩极限荷载的概念，与由土的物理力学性质决定的一般桩的极限荷载的概念不同，由短节组成的静压桩的接头处具有活动性，对纵向弯曲很敏感，因此，静压桩的工作状态类似中心受压柱，其极限荷载按下式计算：

$$N_H = \alpha_K N_{H0}$$

式中： $N_{H0}$ —未考虑纵向弯曲的极限荷载；

$\alpha_K$ —纵向弯曲系数，按下式计算：

$$\alpha_K = 1.1 - \frac{\lambda}{150}$$

$\lambda$ —构件的柔性，按下式计算：

$$\lambda = l_0 / i$$

$l_0$ —构件的自由长度；

$i$ —截面惯性半径。  $i = \sqrt{S/F}$

匈牙利根据经验规定：

当桩长 $h_c < 4$ 米时，极限荷载 $P_H = 0.75 N_{H0}$

$h_c < 6$ 米时，  $P_H = 0.60 N_{H0}$ ；

$h_c > 6$ 米时，  $P_H = 0.50 N_{H0}$ ；

在匈牙利的实际工程中，当桩的极限荷载 $P_H \leq 60$ 吨时，常采用混凝土标号为280\*；截面为25×25厘米的桩；而当 $P_H > 60$ 吨时，则采用混凝土标号为280\*、截面为30×30厘米的桩。

## 五、关于土的实验室和 现场测试技术

匈牙利基本上不生产土工试验仪器和基础工程施工机械，土工实验室使用常规和高压三轴剪力仪大多是从英国进口的，但配上了他们本国制造的自动记录和数据处理系统。实验室除常规土的物理力学性质试验外，还很重视地下水的化学成分和土的矿物成分的分析，这是与他们重视地下工程的防腐研究分不开的。关于土的动力性质，匈牙利研究不多，实验室也没有配备有关设备。但是，在建筑科学研究院和布达佩斯工业大

学岩土工程教研室的实验室，都有较大的室内模型试验槽，工业大学的模型试验槽的尺寸为 $5 \times 2.5 \times 6$ 米（长 $\times$ 厚 $\times$ 深），可在里面作单桩和群桩的模型试验，考察时，他们正在对一根 $\phi 14$ 厘米的模型桩进行试验，该桩由一米一节的钢管组成，共用80个传感器，同时量测加荷时各部位的垂直和水平应力。

近年来，匈牙利对土的现场试验也很重视，静力触探、动力触探和十字板剪切试验使用较多，但旁压仪试验较少使用。所使用的大多数动力和静力触探设备是瑞典“博罗”公司制造的，这些设备比较先进，在国际上获得了广泛应用。对现场试验结果的解释则采用欧洲和苏联标准。

工本费：0.20元