

水泥混凝土路面脱空与压浆处治研究综述

周文献, 孙立军, 阚胜男

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室 上海市 200092)

摘 要: 系统分析了水泥混凝土路面出现脱空的原因, 评述了脱空识别的一般方法和最新的理论分析方法的特点, 着重阐述了水泥混凝土路面压浆技术原理、一般程序及其中的关键技术, 给出了压浆技术施工的验收标准。

关键词: 水泥混凝土路面; 脱空; 压浆技术

水泥混凝土路面在使用过程中, 在行车荷载和环境的作用下, 板下基础将逐渐产生塑性变形和唧泥, 致使水泥混凝土板的局部范围不再与基础保持连续接触, 即出现了板下局部脱空。大量的现场观察和测试表明, 脱空现象在水泥混凝土路面中是大量存在的, 特别是含较多细颗粒材料的半刚性基层水泥混凝土路面。水泥板块出现脱空后, 其受力状况是极为不利的, 将产生过量的弯沉和拉应力, 在重复荷载作用下, 最终将导致水泥混凝土板的断裂、破碎。如果及时进行识别和处治, 势必造成路面板的断裂和路面使用性能的加速衰变, 这将会带来高额的养护维修费用和较低的路面使用性能。板底脱空的一般处治方法是采用压浆技术进行板底封堵。作为水泥混凝土路面预防性养护措施之一, 压浆技术对车辆通行影响较小, 费用较低, 而且还可以减少水泥混凝土路面未来的养护费用, 延长水泥混凝土路面的使用年限, 因此具有十分重要的现实意义。压浆施工是以准确评定脱空状况为基础的, 否则可能造成路面使用性能下降甚至加速破坏。鉴于压浆对施工要求较高, 所以与其说它是一种技术, 不如说是一种工艺。

1 水泥混凝土路面脱空原因

水泥混凝土路面交付使用之后, 在交通荷载和环境的作用下, 会逐渐在板块和基层间出现空隙, 即产生脱空。脱空的出现对水泥混凝土路面板的受力是极为不利的, 因为它改变了路面的力学结构, 板下的连续支撑不复存在, 取而代之为一种类悬臂梁结构。加上水泥混凝土抗弯拉强度很低, 脱空后路面一般会迅

速断裂、破碎。如果不及时采取相应的措施, 随着水的侵入, 在行车荷载的作用下, 经过反复抽吸循环, 将使脱空面积逐渐加大, 板更容易产生碎裂, 板块碎裂将影响到周围其他板, 使路面产生大面积的损坏, 严重影响行车质量, 增加后期的维修费用和难度, 严重影响水泥混凝土路面的使用寿命。脱空产生的原因主要是以下几个方面。

1.1 基层材料选择不合理

基层材料级配不够合理或细料太多, 不耐冲刷, 稳定性、防冻性差等。

1.2 接缝、裂缝未及时填封

接缝料损坏或缺失, 造成水的侵入。水的渗入使基层材料强度、刚度进一步降低, 在荷载的作用下水在板下流动, 冲刷基层表面。在反复的挤压和抽吸作用下, 积水与基层材料中的细料形成泥浆, 沿接缝缝隙喷溅而出, 使基层塑性变形进一步增大, 形成恶性循环。

1.3 水泥混凝土路面自身的缺陷

水泥混凝土路面基层材料的刚度远小于水泥混凝土路面的刚度, 在行车荷载的作用下, 基层将产生塑性变形累积从而出现基层与路面板的脱离。水泥混凝土路面需设置横缝、纵缝等, 这些都易造成水的侵入。

1.4 路面的排水系统的缺陷

路面的排水系统存在缺陷, 使本应及时排走的大量滞留在路面上无法排出, 势必造成路面积水下渗至路基, 造成基层软化。

1.5 行车荷载的作用

随着经济的日益发展, 交通量逐年增长, 重载、

超载车辆逐年增多,而水泥混凝土路面板的设计是依据一定交通等级标准设计的,大交通量和重载、超载加速了路面的破坏,是路面早期损坏的重要原因之一。随着路龄的增长,路面接缝之间的传荷能力逐渐下降,减小了面板的整体性,使塑性变形速率增大。

1.6 自然环境因素

温度及湿度的变化也对面板产生影响,很容易引起板的翘曲变形;为避免过大的温度应力使面板断裂或拱起而设置的纵缝、横缝,随着面板的收缩、膨胀,裂缝也随着张开、闭合,这些都为水的侵入创造了条件。

1.7 其他因素

路基、路面施工过程中存在的一些问题,如路基填土或地基的固结沉降或不均匀沉降,路面的施工质量差,压实不够,后期养护水平较低等。

2 水泥混凝土路面脱空识别

鉴于脱空对水泥混凝土路面使用性能的重要影响,因此有关脱空评定的研究就成为国内外路面结构评价和修复研究的一个重要内容。为了对水泥混凝土路面板块进行脱空的处治,首先应当正确评定脱空状态,确定脱空位置和脱空量,以便确定正确、合理的压浆方案。

目前,水泥混凝土路面脱空判断方法主要可以分为以下几类:

(1)外观判别法,包括人工观测车辆经过时板的震动状况,下雨天时接缝的唧水、唧泥现象等,板缝边缘有无泥浆沉积物等;

(2)撞击法,用铁钎敲击板边,根据不同的声音判断是否脱空,此方法需要经验丰富者才能进行判断,而且只能判断出有明显脱空的板块;

(3)弯沉判别法,采用贝克曼梁测量相邻两块板的弯沉,根据承载板的弯沉值及承载板与未承载板的弯沉差进行综合判断;

(4)多级荷载回归法,该方法采用 FWD 进行多级荷载加载,绘制不同荷载弯沉回归线,进行脱空判断;

(5)反演分析法。

上述方法中,前两种操作简单,但是准确性差,而且无法定量化;弯沉法采用普通仪器,计算简单但是精度不高,不能精确定量,其确定的脱空标准还与结构有关,针对不同结构需对脱空标准进行校正,不具有广泛的适用性;多级荷载回归法操作复杂。对于脱空发展严重的区域,无论是检测人员目测还是采用理

论方法分析,都可以得到准确的结果,然而对于处于脱空临界状态的板块,到目前为止还缺少行之有效的脱空检测方法。目前的研究趋势是用 FWD 实测板块弯沉盆,进行反演分析判断脱空。该方法可以全面定量评价板块脱空,充分发挥 FWD 的作用,而且还具有效率高,量测速度快的特点。

2.1 贝克曼梁法

采用贝克曼梁法,测定水泥混凝土路面板块板边和板角的弯沉值和弯沉差。板块脱空判别一般标准:

- (1)弯沉 $<18(0.01\text{ mm})$,弯沉差 ≤ 6 ,无脱空;
- (2)弯沉 $=18\sim 30(0.01\text{ mm})$,弯沉差 ≤ 6 ,可能脱空;
- (3)弯沉 $\geq 30(0.01\text{ mm})$,弯沉差 ≤ 10 ,明显脱空。

2.2 多级荷载回归法

在实际脱空判别应用中使用相对较多的是多级荷载回归法,该方法在国际上应用也较为广泛,取得了较好的效果,已被 AASHTO 规范引用。其理论基础是:理论计算和现场测试均表明,在值得注意的板角脱空出现之前,回归曲线推算的 0 荷载板角弯沉应当为 0,或接近于 0。它的基本步骤为:

(1)采用 FWD 测试板角弯沉,作用荷载设定为 3 级;

(2)以弯沉为横坐标,荷载为纵坐标,把对应 3 个荷载级别的弯沉值标注在平面图上,画出线性拟合直线,并延长直线与坐标轴相交;

(3)如果板下支撑情况较好,延长线将穿过坐标原点,或距离原点 0.05 mm 以内,大于 0.05 mm 将认为脱空存在,通常越偏离原点,脱空情况越严重。如图 1 所示。

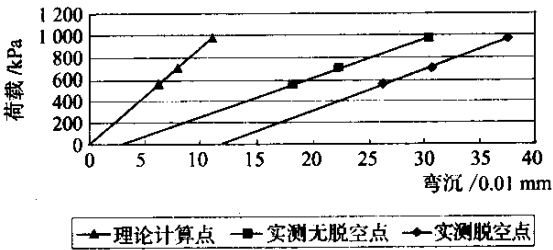


图 1 多级荷载回归法应用图

该方法的优点是快速简便,不需要较深的理论基础,适于现场评定,但需要注意的是,限值 0.05 mm 的制定主要通过经验总结而来,忽视了路面结构的差异,缺乏足够的理论支持;同时,该方法也没有考虑接

缝传荷效率的影响。

2.3 基于 FWD 的反演分析法

路表弯沉是路面结构刚度参数的体现,而地基脱空对路表弯沉的影响是明显的。当水泥板发生板边脱空时,其板边在荷载作用下的弯沉值必定大于未发生脱空时的板边弯沉值。因此只需知道未脱空时的板边弯沉值及实测的板边弯沉值即可判断是否脱空。未脱空的板边弯沉值可视为理论计算的弯沉值。判断脱空的理论模型步骤如下。

(1) 面层厚度测量。

水泥混凝土面层厚度对于地基反应模量、水泥混凝土面层模量的反算以及脱空的判断有着重要的影响。但由于施工等原因水泥混凝土板的厚度在不同位置并不是严格等于设计厚度,而是沿设计厚度上下浮动。因此,要想精确地反算水泥混凝土路面结构层模量,判断是否脱空,必须对水泥混凝土面层的厚度有详细的了解。

(2) 板中弯沉盆测定及板边弯沉盆测定。

对同一水泥混凝土板进行板中和板边两次加载,获得板中和板边弯沉盆以及传荷系数。

(3) 采用惯性点理论反演水泥板模量和土基模量。

要根据水泥混凝土面层模量和土基模量计算理论板边弯沉,其首要工作就是根据 FWD 实测的板中弯沉盆反算面层和土基模量。反算方法主要分为 5 类,即:图表法和回归公式法、迭代法、数据库搜索法、遗传算法和人工神经网络法。基本原理是近似的,即通过匹配计算和实测弯沉盆信息,寻求一组使两者误差最小的结构层模量集,最终都归结为非线性最优化问题。然而,非线性最优化问题存在依赖初始值、局部收敛及解的唯一性问题,反算结果本身是否合理,一直是模量反算研究致力解决的问题。同济大学孙立军教授对惯性点的发现和对其特征的研究,使得对土基模量有着唯一性的确定,解决了水泥混凝土路面结构模量反算时解的唯一性问题,并且大大提高了反算的精度与速度。

(4) 计算板间传荷能力和板边理论最大弯沉。

理论计算表明,接缝传荷能力对板边应力有重要的影响。通常采用挠度传递系数评定接缝的传荷能力。可采用弯沉分担系数作为衡量板块间传荷能力大小的指标:

$$L_w = W_L / (W_U + W_L) \times 100\%$$

式中: W_L 为承载板边缘的挠度; W_U 为未承载板边缘的挠度。

当 L_w 接近 0.5 时,板块间接缝传荷能力接近 100%; 当 L_w 明显大于 0.5 时,板块间为部分传荷; 当 L_w 接近 1 时,板块间基本无接缝传荷能力; 当 L_w 明显小于 0.5, 则可能为相邻板块脱空所致。

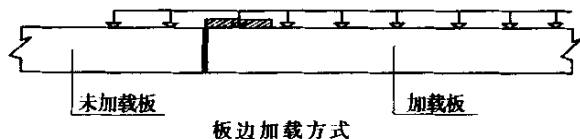


图 2 FWD 板边加载方式

(5) 测定值与计算结果对比, 判别脱空。

采用板边理论弯沉值与实测弯沉值对比进行脱空判断, 根据惯性点理论反算的水泥混凝土面层模量和土基模量, 由 Westrgaard 板边弯沉公式及板块间的弯沉分担系数得到考虑传荷的板边理论最大弯沉为 W 。比较板边理论最大弯沉和实测板边弯沉, 并设定阈值 a , 判断脱空。 a 最好为略小于 0 的小数, 使得脱空的判断偏向保守。根据经验阈值可以采用 -0.08。为了叙述方便, 在此将 $(W - W_{\text{实测}}) / W$ 简称为脱空判断系数 D_q 。

$$D_q = (W - W_{\text{实测}}) / W < a, \text{ 则判断板块脱空。}$$

3 压浆理论

压浆理论是基于流体力学和固体力学的理论发展而来的, 是通过对浆液的单一流体形式进行分析, 建立压力、流量、扩散半径、压浆时间之间的关系。基本理论如下。

3.1 渗透压浆

在不足以破坏地层构造的压力下, 把浆液压到土壤的孔隙和岩体的裂隙中并扩散到足够远的地方, 从而取代、排出其中的空气和水。它取决于岩土介质的渗透性、浆液的粒度、流变性和渗径结构。渗透压浆浆液一般均匀地扩散到土颗粒间的孔隙内, 将土颗粒胶结起来, 增强土体的强度和防渗能力。浆液扩散形式取决于压浆方式: 当由钻杆端孔压浆时, 压浆孔较深, 这时相当于点源, 浆液呈球面扩散; 采用花管式分段压浆, 则浆液呈柱面扩散。

3.2 压密压浆

用极稠的浆液, 通过钻孔挤向相邻土体, 在压浆处形成球形浆泡, 浆体的扩散靠对周围土体的压缩达到加固目的, 而劈裂压浆则是通过浆脉来挤压和加固邻近土体。在压密压浆过程中, 必须采用稠浆和快速注入, 然而实际施工中, 经常发生稠浆堵塞输浆管现

象。当采用稀浆冲洗时,又会出现压浆压力突然下降现象,此时,压密压浆已转化为劈裂压浆。但在劈裂压浆过程中,土体一旦劈开,即使将稀浆改用稠浆,劈裂压浆也不会转化为压密压浆。

3.3 固结排水论

认为压浆过程分为“填满”和“饱和”两个阶段。在填满阶段,浆液进入并充填了裂隙的绝大部分,在饱和阶段,浆液中的多余水分在饱和压力(最高压力)下产生类似于太沙基的土力学固结现象而被排出,使水泥颗粒彼此接近。

3.4 流动沉积理论

浆液进入岩缝以后的流动速度和压力随着离开钻孔的距离而迅速下降。当浆液在裂隙内的流速降低到某一临界值时,水泥颗粒在重力作用下首先在临界流速处陆续向底部沉落。沉积的结果使渗浆断面缩小,压浆压力和浆液流速都发生变化。多余的水分在沉积层顶部微小的缝隙内以清水的形式流到远方,直至裂隙完全填满为止。

实际上,浆液在地层中往往以多种形式运动,而且这些运动形式随着地层的变化、浆液的性质和压力变化而相互转化或并存。尽管浆液在地层中运动形式复杂,但它在一定条件下总是以某种流动形式为主。正确地运用压浆理论,可使其以所要求的运动形式为主在地层中流动,以达到压浆的目的。

在道路工程中,压浆就是用高压泵将配制好的浆液注入需要补强加固的路面位置。压浆在路面工程中一般有两个用途:脱空处治;基层或土基强化。整个压浆过程是一个将空隙中的空气、水和泥浆排出,注入浆液填充空隙,粘结并固结,使面板与基层密贴,改善路面结构的受力状况的过程。同时浆液也可填充基层较大的空隙并粘结,提高其承载力和刚度;对土基来说,可用压浆来加固地基,增强路面下层的稳定性。在合理的压力和浆体流动条件下,浆液始终朝路基的小主应力方向运动,注入板块以下的薄弱环节,起到补强加固的作用。根据补强目的不同,压浆可以用来进行脱空处治,基层和土基强化处理。

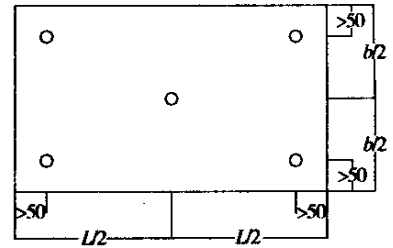
4 压浆准备

压浆的目的是为了恢复对路面结构的支撑,作为一种预防性养护措施,应在板边或板角刚出现支撑力丧失时就尽快进行。在路面板块尚未发生严重裂缝时,压浆技术是一种比较经济的修复方法。如果初时弯沉很小或脱空很小,最好不要灌浆,因为压浆所造

成的扰动可能使弯沉增加,甚至加速板块的断裂。

(1) 浆孔布置。

在确定脱空板块后,则需进行浆孔的布置。根据有关经验,浆孔应尽量避免布置在板块沿行车方向后 $1/3$ 处。在此布置浆孔,易造成板块的断裂。面板布置孔位的基本尺寸可采用图 3 所示尺寸,为防止钻孔时触及传力杆钢筋,压浆孔距板角距离取大于 50 cm 。现场应根据水泥混凝土面板尺寸、下沉量大小、裂缝状况、压浆机械以及室内试验、施工人员的经验加以确定。孔数应能满足压浆、排气的要求。



L —板长; b —板宽 单位:cm

图 3 压浆孔位布置图

压浆孔大小应和灌注嘴大小一致,一般为 5 cm 左右。压浆孔钻好后,用压缩空气将孔中的混凝土碎屑、杂物清理干净,并保持干燥。压浆孔的深度应视脱空层位而定,同时考虑基层情况。若面板与基层之间出现脱空,且基层状况较好,其孔深为板厚加 5 cm ;若基层质量不好或与垫层之间出现软弱脱空,其孔深应打到基层以下 5 cm ,甚至穿透垫层,但是钻入土基的深度不得大于 7 cm ,同时要保证钻孔垂直度满足要求。

(2) 压浆材料选用。

压浆材料性能一般要求:流动性优良;具有足够强度;耐冲刷性能良好;干缩小;早强;另外还要满足经济性要求。压浆材料一般包括水泥、水、粉煤灰、减水剂、早强剂、膨胀剂等,也有掺加砂子的,根据国外的研究,证明水泥砂浆效果不好。由于粉煤灰产品性质固有的变异性,因此水泥—粉煤灰浆液压浆效果差异较大。

(3) 浆量预测。

根据以往的压浆施工经验,结合现场的路面脱空量大小、基层类型等因素,对需要进行压浆的板块进行浆量预估,以便配置相应数量的水泥浆,保证浆体的流动性能和压浆的效果。

5 压浆技术工艺

5.1 路面钻孔

钻孔的布置应能提供足够多的孔,使砂浆能流到路面下的所有空隙。按上述原则布置钻孔位置,灌浆孔与面板边的距离不应小于 0.5 m,在一块板上,灌浆孔的数量一般为 5 个,也可根据脱空情况而定。

5.2 清孔

压浆孔钻好以后,要保证孔内干净,不能有杂物进入孔内。如果压浆与钻孔分开施工,可在钻孔完毕后用纸或空水泥袋等将孔塞住,等压浆时再取出,防止还未压浆就有杂物进入。

5.3 压浆

压浆是板下封堵施工中最关键的环节。压浆施工时要使压浆喷头完全插入孔中,拧紧喷头螺丝,以免由于压力的增加使得压浆头被强行喷出。针对每一块板来说,压浆的顺序应当是从沉陷大的地方开始,逐步由大到小依次进行。在达到预期的要求后,停止压浆,拔出压浆喷头,立即用圆木塞将孔塞死以免水泥浆外溢压力被减弱。

5.4 板块抬升观测

在进行压浆的同时要防止超压压浆而造成面板抬升过高。如果抬升过高,则易造成板块的断裂。应在被压浆面板附近,架设测量仪器。观测压浆过程中面板抬高、隆起现象。若测量到面板整体或局部出现抬高,需立即通知压浆机械操作人员。当抬高量达到 0.3 mm,应及时关闭压力阀立即停止压浆。

5.5 补注

由于浆体在板下流动、填封空隙需要一段时间,因此在压完一块板后,应重新往浆孔中再次压浆。

5.6 养生

压浆施工完毕后,对压浆处理过的水泥板进行保养是压浆处理的又一重要环节。普通硅酸盐水泥应保养 7 d。如为缩短工期可采用高标号的快硬水泥,这时保养期应不小于 1 d。

6 脱空处治效果评定

水泥混凝土路面压浆技术目前还有没有规范的验收方法。从材料、结构施工工艺考虑,从以下三方面对压

浆的效果进行评价,是较为全面、有效和可行的。

(1) 压浆浆体配合比及强度评价。

包括配合比是否符合试验室试配并报请有关单位核定的组配比例,是否少用或多用部分组成材料,这可能影响浆体后期强度及行车后补强功效;其次是压浆浆体的立方体抗压强度是否符合设计要求。

(2) 现场外观质量评价。

包括现场浆体流淌状况、施压过程和压浆过程的连续性、压浆量以及工后养生保护是否符合设计和质量要求。

(3) 弯沉测量评价。

压浆后,应在 24 h 龄期或 3 d 龄期,用贝克曼梁式弯沉仪(5.4 m)和后轴荷载 100 kN 的标准车,在面板上再次测量主点弯沉值和差异弯沉值。当主点弯沉值均低于设计要求值时,可认为压浆补强功效已经达到;若两者弯沉值无明显改善或仍不符合设计要求时,应及时分析原因,改进压浆方法或浆体组配,进行二次压浆,以达到补强功效。

参考文献:

- [1] 章宏庆. 水泥混凝土路面加铺层设计研究[D]. 硕士学位论文. 同济大学, 2004.
- [2] 肖益民, 王族友, 等. 水泥混凝土路面唧泥与压浆技术的再认识[J]. 华东公路, 2001, (6).
- [3] 吴中堂, 徐建达. 水泥混凝土路面板底压浆技术应用[J]. 公路, 1997, (6).
- [4] 项新里. 旧水泥混凝土路面改建技术与方法的探讨[J]. 公路交通技术, 2003, (5).
- [5] 郭生城, 王友. 水泥混凝土路面板板下封堵技术[J]. 东北公路, 2003, 26(2).
- [6] 罗孝荣, 张素云, 陆学元. 水泥混凝土路面压浆技术处理的实践与认识[J]. 西部探矿工程, 2003, 15(8).
- [7] 杜立峰, 屈彦玲. 旧水泥混凝土路面压浆补强施工[J]. 石家庄铁道学院学报, 2003, 16(B07).
- [8] 张建华, 应荣华, 张起森, 李健, 肖宇. 用 FWD 进行板下地基脱空状况的评定[J]. 湖南交通科技, 2003, 29(1).

文章编号: 0451-0712(2004)12-0199-05

中图分类号: U416. 042

文献标识码: B

聚酯纤维材料在高速公路养护中的应用分析

徐 蕾

(浙江沪杭甬高速公路股份有限公司嘉兴管理处 嘉兴市 314001)

摘 要: 通过聚酯纤维材料在沪杭高速公路路面养护整修项目中的工程实例和有关试验,总结介绍聚酯纤维材料在改善和提高沥青混凝土面层的各项力学性能方面的作用。

关键词: 聚酯纤维; 高速公路; 应用分析;

随着高速公路的不断发展,交通量不断增大,重型车不断增多,不少高速公路在营运初期就发生了不同程度的损坏,影响了路面的正常使用,而在通车的高速公路上维修,必须局部封闭交通,维修困难,社会影响大,因此,选择一种高性能的路面材料,加强和改善路面的使用品质,延长路面的使用寿命,以减少维修次数,应是一种值得研究的方法。

参考国内外发展动态与作法,我们在沪杭高速公路嘉兴段路面养护整修项目施工中,尝试在某些代表路段采用添加聚酯纤维(Good Road II)材料的热沥青混凝土和改性沥青混凝土进行病害处理和罩面,并在相同的施工条件下,与未添加聚酯纤维材料的处理路段进行比较。通过有关试验和检测结果表明,添加该种材料后可以较明显地改善沥青混凝土面层的高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性,现就实际施工和有关试验作一介绍。

收稿日期:2004-07-01

1 交通量分析

沪杭高速公路(嘉兴段)全长 88.195 km,是目前连接上海和杭州的唯一一条高速公路,1998 年年底通车,交通流量很大,且增长迅速。现将 1999 年至 2003 年的年平均交通流量介绍如表 1。

表 1 1999 年~2003 年年平均流量情况表

| 年份 | 1999 年 | 2000 年 | 2001 年 | 2002 年 | 2003 年 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 年平均流量/辆 | 1 223 901 | 1 510 787 | 1 887 868 | 2 304 007 | 2 731 315 |
| 比上一年的增长率 | 0 | 23% | 25% | 22% | 19% |

2 试验概况简述

沪杭高速公路(嘉兴段)对添加聚酯纤维的沥青混凝土的研究和试验最早在 2001 年,当时主要应用于病害处理施工中,在观察了两年使用情况后,又于 2003 年应用于罩面施工中。我们主要选择了两段代表性路段分别进行病害处理和罩面试验,其中病害

A Study on Void Underneath Slab of Joint Concrete Pavement and Slab Jacking Treatment

ZHOU Wen-xian, SUN Li-jun, KAN Sheng-nan

(MOE Road and Traffic Engineering Open Lab of Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In this paper the main reasons for the void underneath slab are presented, a comment on methods of void detection is made. The theory and procedure of stabilization, and the key technology of which are also discussed. In the end, the criteria of check and acceptance are given.

Key words: joint concrete pavement; void underneath; slab jacking technology