

[补充信息]

基于行车舒适性的土工格栅处治涵洞路基差异沉降技术

丁龙亭¹, 王选仓¹ ✉, 付林杰², 张梦媛¹, 苟想伟³

1 长安大学公路学院, 西安 710064;

2 天津市市政工程设计研究院, 天津 300392;

3 甘肃路桥第三公路工程有限责任公司, 兰州 730030

[Supplementary Information]

Research on Differential Settlement Technology of Culvert Subgrade Treated by Geogrid Based on Driving Comfort

DING Longting¹, WANG Xuancang¹ ✉, FU Linjie², ZHANG Mengyuan¹, GOU Xiangwei³

1 School of Highway, Chang' an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2 Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute, Tianjin 300392, China;

3 Gansu Luqiao Third Highway Engineering Co., Ltd., Lanzhou 730030, Gansu, China

有限元计算模型

模型由路基填料、黄土地基、土工格栅三个 part 组成, 土体本构模型采用的是 Mohr-Coulomb 塑性本构模型模拟路基和地基。土工格栅是一种拉伸材料, 无法受压且易弯曲, 其长和宽要远大于厚度, 拉伸变形以弹性为主, 因此, 本文选择 Truaa (一维线性杆单元) 建立格栅部件, 采用线弹性的本构关系。模型中路基填料和黄土地基之间的接触条件为 general interaction。考虑格栅埋设于路基土后没有发生拉断和拔出破坏, 并且格栅与土的相互作用主要为摩擦作用, 结合 Abaqus 软件特点, 本文在选择格栅与土的相互作用时, 将其类型设定成 Embedded region, 即格栅嵌入到路基中。

为模拟路基分层填筑的施工过程, 首先, 本文计算中利用分析步 (step) 中的时间步长来控制各层路堤、路面和荷载加载情况, 然后在相互作用 (interaction) 模块中, 通过 model change 功能来实现区域单元格的开关状态, 最后在荷载 (load) 模块中设定地基、每层路堤土和路面层区域荷载方式为体力, 这样就实现了路基和路面分层加载的施工过程。其中, 在 step 模块中, 路基和填筑期荷载加载方式选为瞬态, 而施工间歇期荷载加载方式为线性叠加。在 interaction 模块中, 首先关闭地基层以上区域的单元格, 在相应的路基填筑期分析步开始时, 将该阶段对应的路基土区域单元格重激活, 并利用 model change 功能实现各阶段荷载的传递。

建立模型时选择的是二维平面部件, 采用 static, general 分析步, 划分单元格时, 土工格栅用 B21 单元, 首先将模型进行分区, 将模型划分成了多个规则四边形。划分网格时采用的是

结构和扫掠结合的方法，结构划分技术主要是针对规则的四边形区域，这样可以将模型都划分为四边形网格，同时又不会产生扭曲的无效网格，提高了计算精度。网格采用进阶算法，四边形单元格类型为 CPE8R，该类型单元格在 abaqus 软件中计算了单元应变分量的平均值，因此其均匀应变公式更加精确。

折线型路基变形函数

桥涵构造物台背路基在运营过程中，当路面结构出现明显的裂缝病害，路基不均匀沉降增大，大致呈折线型时，路基变形模式为折线型。在路基折线变形示意图的基础上，建立图 S1 所示的坐标系，以便进一步分析得到其函数表达式。

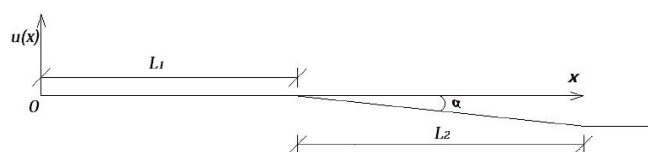


图 S1 路基折线变形模型坐标系

Fig.S1 Coordinate system of subgrade broken line deformation model

根据图 S1 坐标系及路基变形示意图，得到该模式下路基空间变形函数为：

$$u(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < L_1 \\ -L_2 \times \alpha, & L_1 \leq x \leq L_1 + L_2 \end{cases} \quad (S1)$$

式中： $u(x)$ 为路基高程函数，纵向半填半挖或桥涵路基取纵断面高程，横向半填半挖则取横断面高程； L_1 为挖方段路基或涵洞、通道长度； L_2 为填方段路基长； α 为路基顶面相对转角，也即路基沉降坡差，由于数值很小，可近似取其正切值。

涵洞路基处有限元计算类型

表 S1 涵洞路基处有限元计算类型

Table S1 Types of finite element calculations for culvert subgrade

计算类型	涵洞路基处有限元计算类型
不同格栅铺设形式	计算未铺设格栅、方案一和方案二下的路基变形分布。方案一为在涵洞上部 1 m 高度处跨越洞顶布设一层总长 10m 的格栅，方案二为在涵洞上部 1 m 高度处洞顶两侧各布设一层 5m 长格栅，其中格栅在洞顶范围内长度为 2 m，洞外长度 3 m。
不同格栅铺设位置	计算未铺设格栅和格栅布置在距涵洞顶部 $h=1$ m、2 m 和 3 m 三种工况下的路基变形分布，其中格栅长度是 10 m。
不同格栅铺设密度	计算相邻格栅竖向间距 s 为 0.5 m、1 m、1.5 m、2 m、2.5 m 和 3 m 六种工况下的路基变形分布，其中格栅长度是 10 m。
不同格栅铺设长度	计算格栅长度 L 为 2 H (H 为涵洞长度)、3 H 和 4 H 三种工况下的路基变形分布，在涵洞顶面以上 0.5 m 处铺设第一层格栅，向上间隔 1.5 m 铺设第二层格栅，再向上间隔 2 m 铺设第三层格栅。
不同格栅模量	计算格栅模量 E 为 30 kN/m、40 kN/m、50 kN/m、60 kN/m、70 kN/m 和 80 kN/m 六种工况下的路基变形分布，在涵洞顶面以上 0.5 m 处铺设第一层格栅，格栅长度为 2 H，向上间隔 1.5 m 铺设第二层格栅，格栅长度为 3 H，再向上间隔 2 m 铺设第三层格栅，格栅长度为 4 H。