

高速公路加宽工程有限元分析

韩建辉

(建设综合勘察研究设计院有限公司, 石家庄 050021)

摘要: 结合连霍高速公路郑州段改扩建工程软基处理实例, 建立平面有限元计算模型, 模拟路基在静荷载和动荷载相互作用条件下路基的竖向位移、竖向应力、竖向变形, 对路基在加桩处理前后计算结果数据进行分析后, 得出高强度预应力混凝土管桩复合地基能够提高拼接路堤的整体性, 改善结合部应力特性, 减小新老路堤的差异沉降的结论。

关键词: 高速公路; 软基处理; 有限元分析

1 工程概述

连霍高速公路郑州段改扩建工程起点位于连霍高速与京珠高速交叉点刘江互通式立交西侧(K71+000), 终点位于连霍高速与郑州市西南绕城高速公路交叉点西南绕城枢纽立交桥西侧(K122+350), 全长 35.320 公里, 为河南省高速公路首例加宽扩建工程。该路段现为双向四车道高速公路, 路基宽度 26 米, 河南省高速公路发展有限责任公司筹资对该段高速公路进行改造扩建以适应交通运输的快速发展, 改扩建在原有道路两侧实施加宽改造, 扩建后为双向八车道高速公路, 路基由 26 米拓宽至 42 米, 左右侧各加宽 8 米。

2 软基处理方法

扩建工程中加宽部分路堤作为边载形式引起道路产生的附加沉降和新老路基之间的不均匀沉降, 所以扩建相对新建公路软基处理措施, 对路堤稳定和工后沉降变形提出了更高的要求。再加上施工场地有限, 施工周期紧等因素, 从目前已经和正在扩建的高速公路工程来看, 加宽路堤的地基处理通常采用快速加固方法, 以加快施工周期, 降低施工期间维持交通正常运营的费用, 因而复合地基加固法是常用的地基处理方法, 同时通过合理布置桩长与桩间距来协调不同路段的沉降差异, 取得了比较好的效果。

本扩建工程大部分路段属软土地基, 又加上大部分路基为高填方路段, 地基处理不当会导致路基过大沉降。为了保证新旧路堤的稳定, 减少新老路基不均匀沉降, 提高地

基的承载力,根据不同路段的地质情况和路基不同的填土高度,分别设计了不同桩长的PHC 预应力管桩对扩建加宽部分地基进行处理,桩径 $\Phi 400\text{mm}$,壁厚 60mm,桩长 9~13m 不等,桩平面采用方形布置,间距 $2.0\text{m}\times 2.0\text{m}$,加宽部分 8 米共布置 5 排管桩,桩顶浇注 $100\text{cm}\times 100\text{cm}\times 30\text{cm}$ 标号 C25 混凝土桩帽,其上铺设 40cm 碎石加土工格栅垫层,土工格栅型号为 TGDG80PP,其基本技术参数可见表 1,其上部填土高度为 5~6m,所填土重度为 19kN/m^3 ,所填土的内摩擦角为 22° 。

Table1 The physical mechanical properties of soil group

[illegible]

3 有限元分析

3.1 模型的建立和网格划分

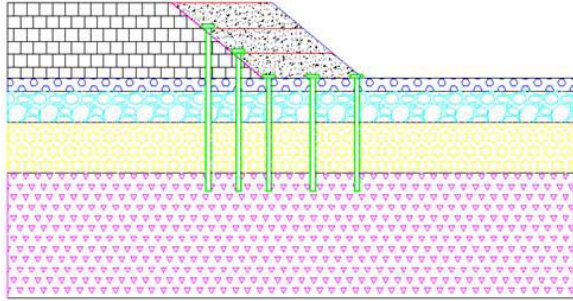


图 1 模型的几何图型图

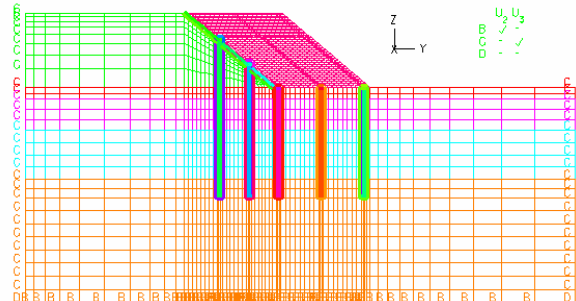


图 2 路基有限元网格划分模型

Fig 1 Model of geometrical figure

Fig 2 Plotting in bed model by finite element grids

首先在有限元软件中建立几何模型，考虑到计算影响范围，取路基计算深度取 17.5m，宽度取 45m，根据结构对称性，取一半结构进行计算。模型建好以后对其进行划分网格，如图 2 所示。

本文模型单元网格划分采用四节点的四边形单元。网格的密度对计算结果的精度有很大的影响，网格划分的越密，越接近于真实的情况，但是网格划分的越密，求解所需的时间越长，因此要选取一个合适的密度，本文建模时在远离加宽路基部分以较疏的网格划分模型来计算，在加宽部分和桩体部分加密网格进行计算，这样认为网格的精度符合要求，以更好地反映这些复杂区域的受力情况。

3.2 参数设置

(1)材料属性

模型主要为两种材料土体和混凝土，模型划分以后分别对各层土体和混凝土管桩定义各自的单元类型、单元实常数、材料属性等。

(2)边界条件

对于边界条件，左右边界为竖向自由，水平约束。下边界为竖向和水平均约束。在新老路基结合处和管桩与土体之间施加接触分析，更好模拟彼此之间相互作用。

(3)荷载的施加

本文的作用于路基的荷载主要为两种：一种是土体的自重；另一种是路面的交通荷载。交通荷载作用下路基路面动力响应较为复杂。为简化计算过程，在道路结构的传统设计中，通常采用作用于路表的等效均布荷载来替代交通荷载的作用效应。按公路桥涵设计通用规范（JTG D60—2004）本文有限元计算中，将车辆荷载等效为 $10\text{KN}/\text{m}$ 静载。

3.2 计算结果分析

通过以上分析后即可对模型进行最后的处理，得出计算结果。软土地基在老路堤荷载作用下，主固结基本完成，沉降趋于稳定。新路堤直接和老路堤拼宽后，软基中将产生附加应力和超孔隙水压力，从而引发软基土体的再次固结沉降。通过有限元软件模拟分析，本文在分别比较路基在加桩前后竖向位、竖向应力、竖向应变的变形图和等值线图，反映新老路堤的变化情况。

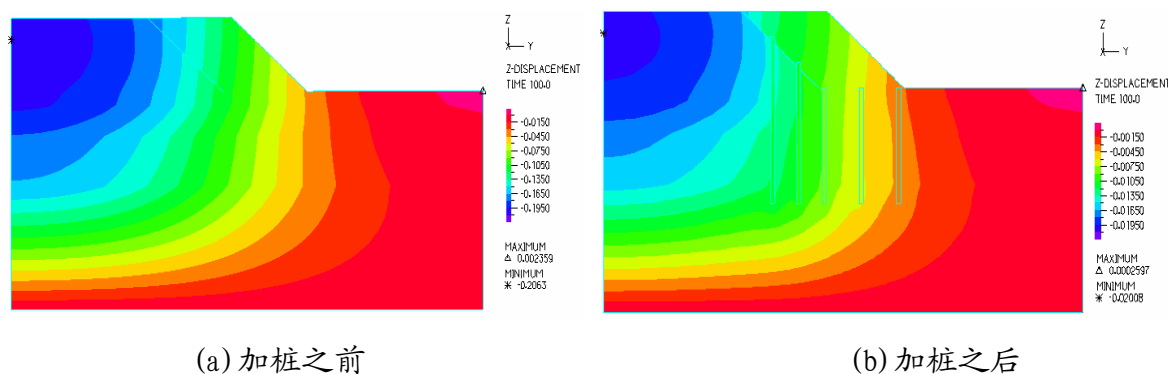


图 3 路基的竖向位移图

Fig 3 The chart at vertical displacement in the roadbed

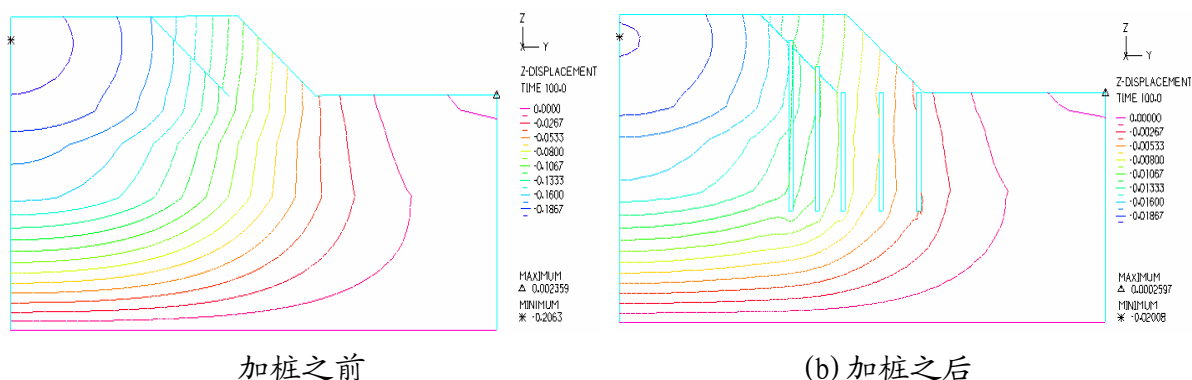


图 4 路基的竖向位移等值线图

Fig 4 The isoline chart at vertical displacement in the roadbed

由以上图形结果看出老路基已经固结，位移变形主要发生在新路基上。在处理之前最大竖向位移为 $0.2m$ 左右，经过预应力混凝土管桩复合地基处理之后竖向位移为 $0.02m$ 左右，使新老路堤结合处相差更小，满足工程结构的要求。

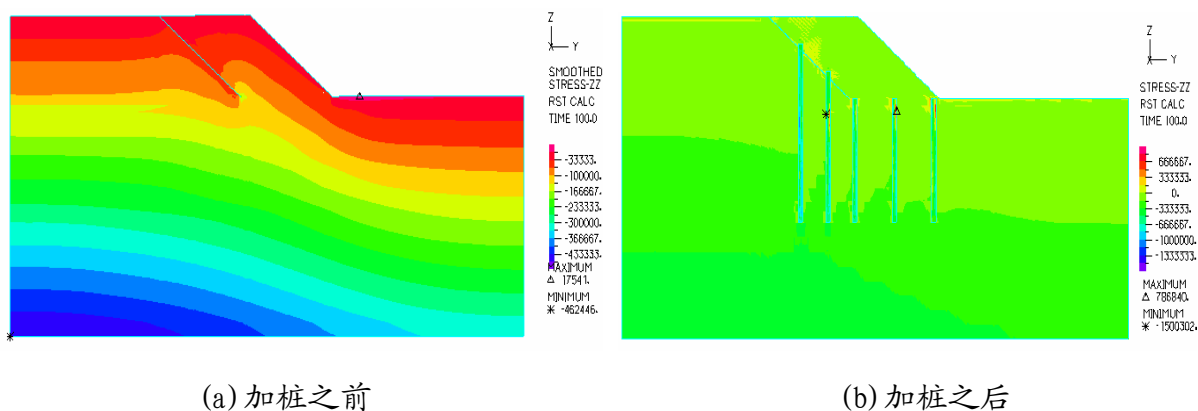


图 5 路基的竖向应力图

Fig 5 The chart at vertical stress in the roadbed

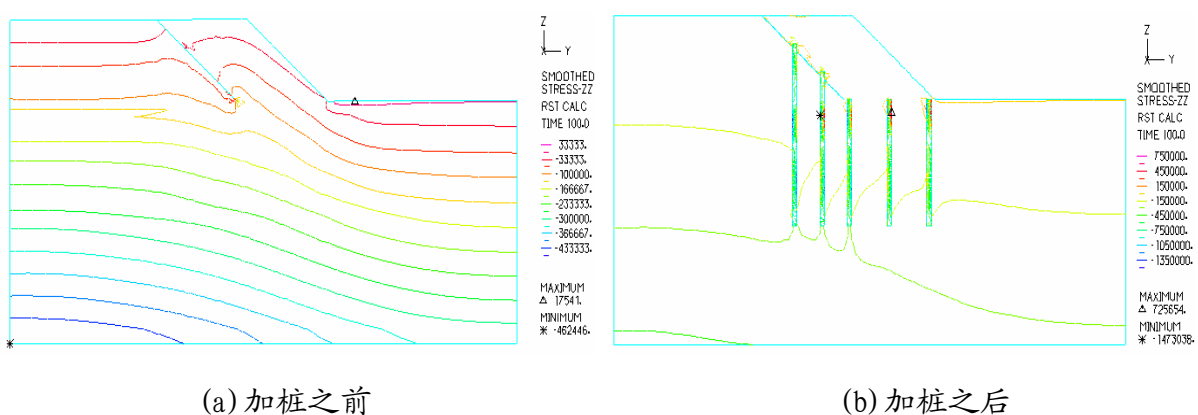


图 6 路基的竖向应力等值线图

Fig 6 The isoline chart at vertical stress in the roadbed

软土地基在老路堤荷载作用下，主固结基本完成，沉降趋于稳定。但新路直接拼宽到老路后，软土地基应力将发生变化。从上图可以看出，最大应力产生于新建路堤下面，主要集中在老路坡脚附近。最大值为 0.42MPa，在路基处理之后土层中应力明显减小，最大应力集中在管桩附近，出现应力集中，最大为 1.5MPa，分担了土体所承受的荷载，使土体内应力减小。

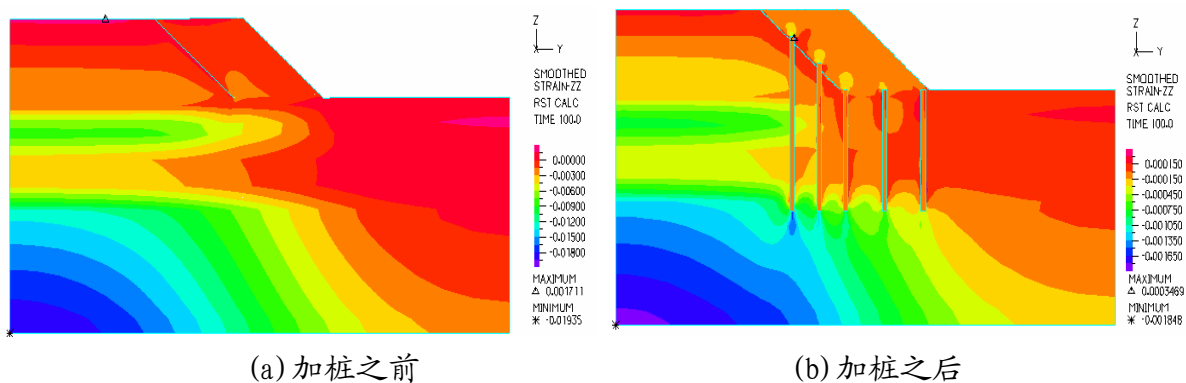


图 7 路基的竖向应变图

Fig 7 The strain chart at vertical in the roadbed

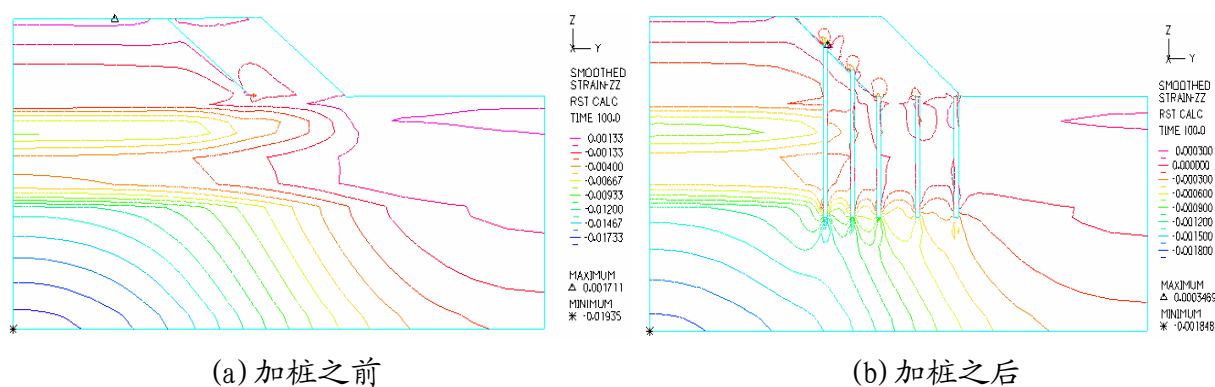


图 8 路基的竖向应变等值线图

Fig 8 The isoline chart at vertical strain in the roadbed

加桩之前在新老路堤下面出现大片的应变区域，最大值为 0.019；在加桩之后，预应力混凝土管桩在地基中发挥作用，是应变区域明显减小，最大值为 0.0018，故新路堤在荷载作用下显现比较稳定，也是其沉降变形更加均匀。

通过比较路基处理前后的竖向位移、竖向应力、竖向应变可知变形沉降效果明显减小，符合实际工程的需要，也说明了本文采用的预应力混凝土管桩的水平向加筋+竖向增强体复合地基施工的技术在理论上是合理可行的，为以后的工程实践提供了理论指导。

参考文献

- [1] 何通海. 高速公路改扩建工程软土地基段新旧路基间的衔接技术[D]. 大连理工大学, 2003
- [2] 刘剑平. 浅谈高速公路软基处理方法 [J]. 今日科苑, 2007, 22
- [3] 朱伯芳. 有限单元法原理及应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998, 440—476
- [4] 叶观宝, 王艳等. 复合地基单元体的有限元分析[J]. 公路交通科技, 2007, 5
- [5] 中华人民共和国行业标准. 公路桥涵设计通用规范 (JTG D60—2004) [S]. 北京: 中交公路规划设计院, 2004
- [6] 张军辉, 黄晓明, 彭嫻. 软土地基上高速公路双侧加宽工程的数值分析[J]. 公路交通科技, 2007