**Hans Journal of Civil Engineering** 土木工程, 2022, 11(7), 875-887
Published Online July 2022 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/hjce
https://doi.org/10.12677/hjce.2022.117095

Hans汉斯

# 高架桥桥基与深基坑近距离施工相互影响的加固参数分析

**李桂颖[1]，周　超[2*]，丁春林[2]，朱海星[2]**

[1]中铁四局第四工程有限公司，安徽 合肥
[2]同济大学道路与交通工程教育部重点实验室，上海

收稿日期：2022年7月7日；录用日期：2022年7月18日；发布日期：2022年7月27日

## 摘　要

为减小高架桥与地下车站深基坑近距离施工的相互影响，实际工程中经常需要对桥基周围土体进行加固。本文通过Midas GTS NX有限元软件，对桩基周围土体采用不同的加固土性和不同的加固范围进行数值模拟，分析了加固参数对高架桥桥基和深基坑近距离施工的影响规律。结果表明，在提高加固土体土性参数1倍以前，每提高土性参数50%，基坑地表沉降减小约5%；超过临界值后，继续提高土性参数对基坑变形控制效果提升并不明显。当加固范围扩大至横向距离桥台14 m，纵向距离桥台12 m以内时，扩大加固范围可以有效减小基坑地表沉降；超过该范围后，加固效果几乎不变；土性加固参数的提高对土体有挤压作用，地下连续墙侧向变形会有少许增加，但并不明显；桥基纵向沉降呈现出两边小、中间大的趋势，改善土体的加固参数可以一定程度减小桥基的沉降。

## 关键词

高架桥桥基，深基坑，加固参数，相互影响，数值模拟

# Interaction between Overpass Bridge Foundation and Deep Foundation Pit in Adjacent Construction

**Guiying Li[1], Chao Zhou[2*], Chunlin Ding[2], Haixing Zhu[2]**

[1]The Fourth Engineering CO. LTD., CTCE Group, Hefei Anhui
[2]Key Laboratory of Road and Traffic Engineering Ministry of Education, Tongji University, Shanghai

Received: Jul. 7th, 2022; accepted: Jul. 18th, 2022; published: Jul. 27th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 李桂颖, 周超, 丁春林, 朱海星. 高架桥桥基与深基坑近距离施工相互影响的加固参数分析[J]. 土木工程, 2022, 11(7): 875-887. DOI: 10.12677/hjce.2022.117095

## Abstract

**In order to reduce the interaction between overpass foundation and deep foundation pit in adjacent construction, a common solution is to reinforce the surrounding soil of bridge foundation in practicle projects. This paper carried out a numerical simulation method with Midas GTS NX by adapting the soil around the pile foundation with different soil properties and different reinforcement ranges, so as to find out the influence pattern of reinforcement parameters in interaction between bridge foundation and foundation pit. The results show that, before increasing the soil property parameters of the reinforced soil by 1 time, for every 50% increase of the soil property parameters, the surface settlement of the foundation pit will be reduced by about 5%; after the critical value is exceeded, the control effect of the foundation pit deformation is not significantly improved by continuing to increase the soil property parameters. When the reinforcement range is expanded to 14 m laterally from the bridge abutment, and within 12 m longitudinally from the bridge abutment, expanding the reinforcement range can effectively reduce the surface settlement of the foundation pit. After this range is exceeded, the reinforcement effect is almost unchanged; the lateral deformation of the underground diaphragm wall will increase slightly, but it is not obvious; the longitudinal settlement of the bridge foundation shows a trend of small on both sides and large in the middle. Improving the reinforcement parameters of the soil can reduce the settlement of the bridge foundation to a certain extent.**



## Keywords

**Overpass Foundation, Deep Foundation Pit, Reinforcement Parameters, Interaction, Numerical Simulation**



Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Open Access


## 1. 引言

我国交通线网错综复杂，高架桥经常需要跨越基坑。基坑开挖受地质、环境、天气等多种因素的影响，施工过程中存在许多不确定性，尤其是在地质条件较差的深厚软土地层分布地区，开挖车站深基坑极易引起坑底隆起变形和围护结构变形过大，威胁基坑稳定性，如果控制不当，甚至还会引发基坑安全事故[1]。

高架桥桥基和地下车站深基坑近距离同步施工时，桥基施工会造成基坑周围土体损失，削弱其横向约束条件，并会影响基坑的稳定性，基坑的开挖与支撑拆除影响桥基水平受力条件，影响桥基的稳定性与安全性。基坑的变形也会加剧桥基的变形，尤其是沿海地区多为深厚软土地层，软土具有强度低，压缩系数高等特征，常常会产生过大沉降甚至失稳。据统计，基坑工程事故的发生率占基坑总数的 25%以上[2]。因此在高架桥桥基和地下车站深基坑近距离同步施工时，需要采取一定加固措施，以保证工程顺利进行。

查阅现有研究发现，许多学者针对桥基与基坑近距离施工进行了研究。其中马辉[3]以广州某下穿广深高速公路桥梁的隧道工程为背景，分析了近距离基坑开挖对既有桥基的影响，通过采用基坑支护和加固桥基周围土体，保证了工程的可靠性。

李龙剑[4]以无锡某下穿高架桥的基坑工程为背景，通过数值模拟发现加固土体的弹性模量对桩基水

平位移的控制效果有很大影响。加固措施可以减小基坑开挖对既有桥基的影响。

王恒[5]等以厦门地区某水闸深基坑工程为背景，采用有限元软件建立桩基加固模型，并与实际情况对比，认为数值模拟技术做为基坑开挖对邻近桥梁桩基影响的评估方法是合理可行的。

郑俊杰[6]等基于武汉地铁 2 号线积玉桥站基坑开挖，利用三维弹塑性数值模拟的方法，研究了基坑被动区加固参数对基坑位移的影响。研究表明，提高加固参数对基坑被动区变形具有非常好的控制效果，但都具有一个有效范围，超过这个范围后，加固效果变化不明显。

温淑荔[7]结合昆明某地铁站深基坑开挖案例，采用数值模拟对基坑加固深度和加固位置对既有建筑的水平和竖向位移影响规律进行了研究。发现加固参数能够减小邻近建筑的位移，但超过某一范围后效果开始减小，且加固位置离基坑越近加固效果越好。

通过以上研究可以发现，对基坑和桥基周围土体进行加固可以减少两者施工过程的相互影响。且加固参数具有一个有效范围，在该范围内，加固效果提升明显，若超过该阈值后，加固收益开始下降。并且土体的加固范围对加固效果也有一定影响，需要根据数值模拟选定合适的加固范围。

本文以沿海地区某地下深基坑和高架桥近距离施工为背景，采用 Midas GTS NX 软件，模拟对桥基周围土体加固，分析不同加固参数情况下的桥基和基坑变形规律，为以后类似工程提供经验。

## 2. 工程概况

本文工程实例为沿海地区某市域铁路 S1 线与 S2 线的换乘站。其中 S2 线先期施工段下穿某高架桥第 22~23 跨处，桥梁承台距离基坑边缘仅 0.6 m。S2 线为地下三层车站，线车站为东西向布置，起讫里程为 S2DK32 + 962~S2DK33 + 194，车站主体深度约 31.41 m，支护形式为连续墙+内支撑，地下连续墙墙厚 1.2 m。

根据地质勘察报告，该工程场地属冲海积平原区，地形平坦开阔，该工程的主要特殊岩土为深厚软土层，地层主要为黏土、粉质黏土和淤泥，埋置厚度达 70 m 左右。软土地基的强度低、稳定性差和不均匀沉降及变形大等特征是主要工程地质问题。勘探深度范围内的土层自上而下分为 11 个主要土层，特殊岩土主要包括填土、淤泥和黏土。土体主要物理力学参数如表 1 所示。

**Table 1.** Soil layer parameters
**表 1.** 地层参数表

| 层序 | 压缩模量 E (MPa) | 重度 $\gamma_0$ (kN/m$^3$) | 泊松比 μ | 粘聚力 c (kN/m$^2$) | 内摩擦角 φ (˚) |
|---|---|---|---|---|---|
| ① 黏土 | 3.24 | 18.4 | 0.35 | 16.70 | 8.72 |
| ② 2 淤泥 | 1.43 | 16.3 | 0.40 | 2.28 | 2.15 |
| ② 3 淤泥质黏土 | 3.49 | 18.8 | 0.40 | 14.32 | 7.76 |
| ③ 黏土 | 5.47 | 19.2 | 0.35 | 28.58 | 12.86 |
| ④ 黏土 | 5.30 | 19.5 | 0.35 | 29.55 | 11.88 |
| ⑤ 黏土 | 6.04 | 19.7 | 0.30 | 32.65 | 12.59 |
| ⑥ 黏土 | 5.79 | 19.7 | 0.30 | 35.00 | 15.40 |
| ⑩ 2 强风化凝灰岩 | 50.00 | 24.0 | 0.20 | 50.00 | 50.00 |

## 3. 计算模型与计算工况

### 3.1. 计算模型

根据如图 1 所示的现场实际 S2 线基坑横断面和桥基相对位置及土层分布，建立如图 2 所示的数值计

算模型。模型整体尺寸为 160 × 109 × 100 m (长 × 宽 × 高)，其中基坑尺寸为 160 × 30.8 × 23.7 m (长 × 宽 × 高)。

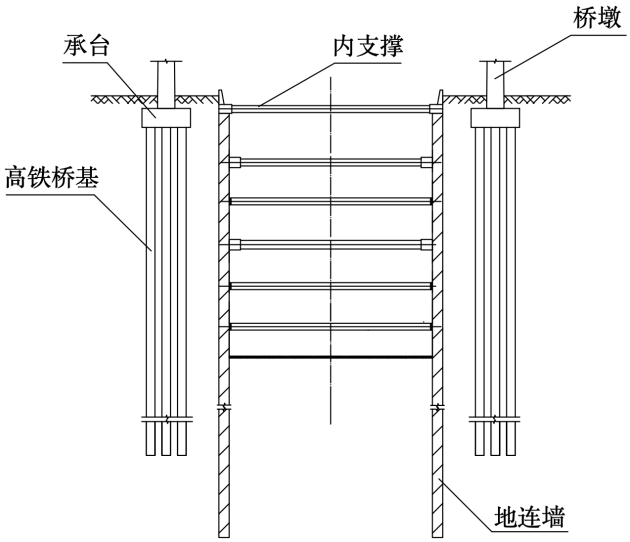



**Figure 1.** Cross-section of bridge foundation and foundation pit
**图 1.** 桥基与基坑断面示意图

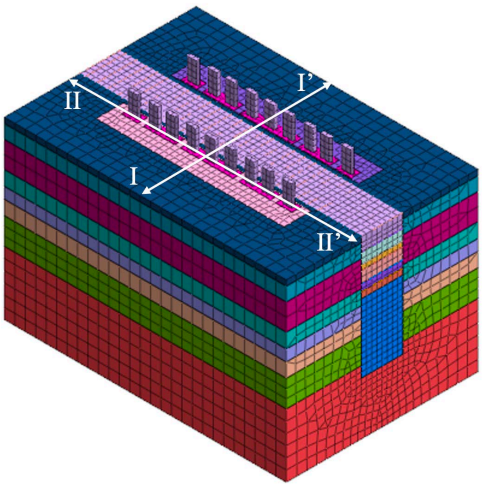



**Figure 2.** Numerical calculation model
**图 2.** 数值计算模型

模型土层采用修正 Mohr-Coulomb 本构模型，采用实体单元模拟土层，用板单元模拟地下连续墙，用结构单元模拟基坑桩基与支撑[8]。

模型边界条件模型地面采用固定约束，模型侧面采用法向位移约束，顶部则为自由边界面。

## 3.2. 工况模拟

工况 1 (S1)：施作第一道支撑，并开挖第一层土；

工况 2 (S2)：施作第二道支撑，并开挖第二层土；

工况 3 (S3)：施作第三道支撑，并开挖第三层土；

工况 4 (S4)：施作第四道支撑，并开挖第四层土；

工况 5 (S5)：施作第五道支撑，并开挖第五层土；

工况 6 (S6)：施作第六道支撑，并开挖第六层土；

工况 7 (S7)：施作基坑底板；

工况 8 (S8)：高架桥桥基施工；

工况 9 (S9)：支撑拆除，车站回筑。

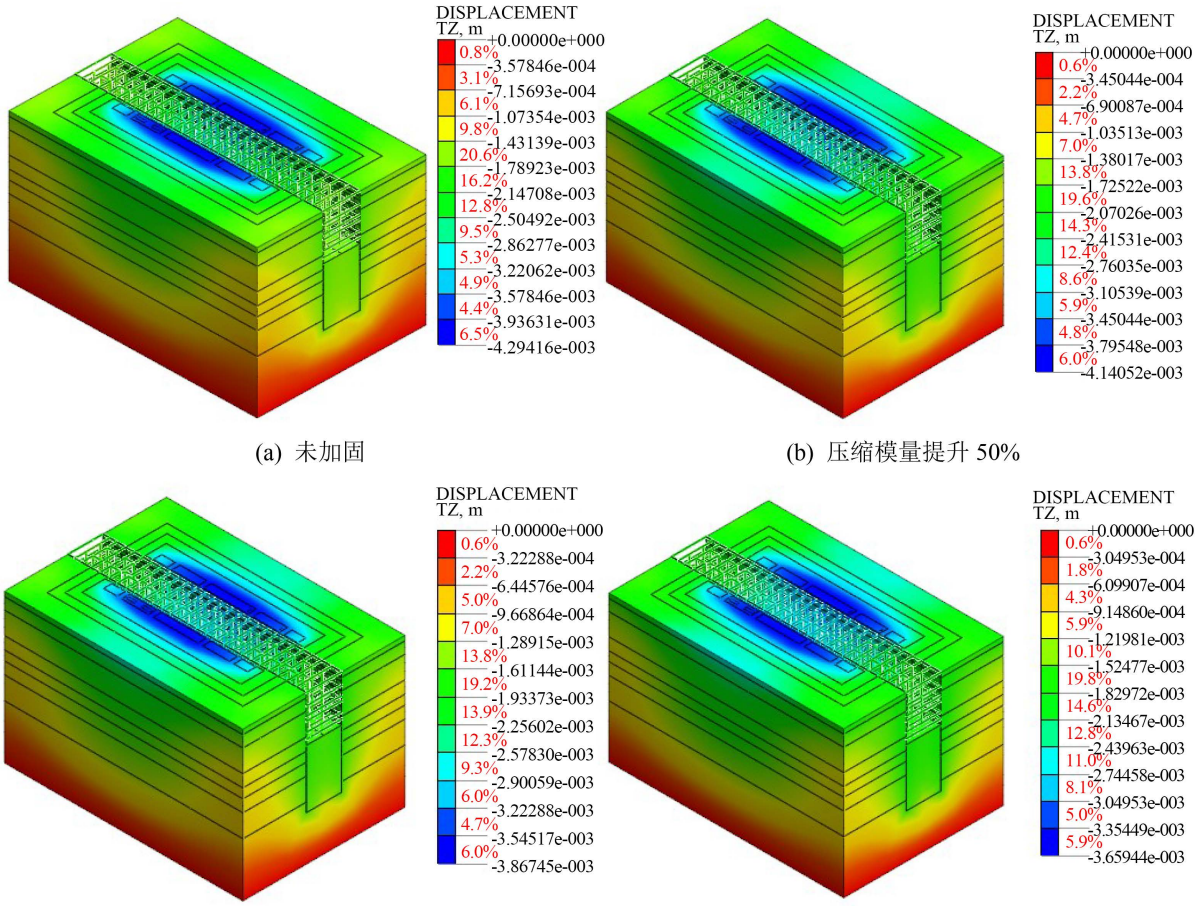
## 4. 土体加固参数影响分析

### 4.1. 土性加固的影响

1) 基坑地表沉降

现有研究表明，不同的土性参数对基坑变形的影响程度不同。其中弹性模量对基坑变形影响较为显著[9]。且工程实际常用高压旋喷桩加固桥基周围土体，以减小地表沉降；加固地基的使用会显著提高土体模量。因此选取压缩模量作为提高值是较为合理的。

按照实际工况进行基坑开挖和桥基施工数值模拟，得出土体未加固和提高不同程度的压缩模量对地基进行加固后桥基施工后基坑沉降变形如图 3 所示。




(a) 未加固　(b) 压缩模量提升 50%

(c) 压缩模量提升 100%　(d) 压缩模量提升 200%

**Figure 3.** Pit deformation of soil around bridge foundation with different reinforcement parameters
**图 3.** 桥基周围土体不同加固参数下基坑变形云图

为分析提高压缩模量对基坑变形的影响，取 I-I’截面为采样面，整理出桥基施工引起的基坑跨中截面地表沉降如图 4 所示。基坑地表沉降呈现出先增大后减小的趋势，最大沉降发生在距离基坑边缘 0~10 m 以内。基坑周围土体未进行加固时，桥基施工最大造成 4.3 mm 的沉降；桥基周围压缩模量加固提升 50%后，沉降量约减小 4.8%；桥基周围压缩模量提升 100%后，沉降量相比未加固减小 10.5%，相比压缩模量提升 50%后减小 6.3%；桥基周围压缩模量加固提升 200%后，沉降量相比未加固、压缩模量提升 50%、压缩模量提升 100%分别减小 15.4%，11.1%和 5.4%。

由此可见，提高土体参数——压缩模量，可以减小土体沉降，因此可以采用高压旋喷桩等加固措施对土体进行加固[10]。但加固效果与压缩模量提升比例并不呈线性关系，随着土体参数压缩模量的提升，沉降量减小幅度缓慢下降，为了考虑经济成本，应该选择合适的加固范围和加固程度。

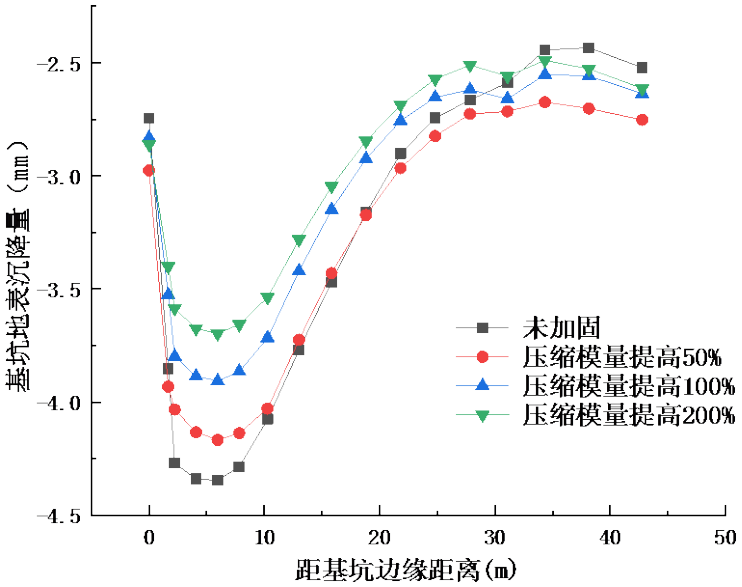
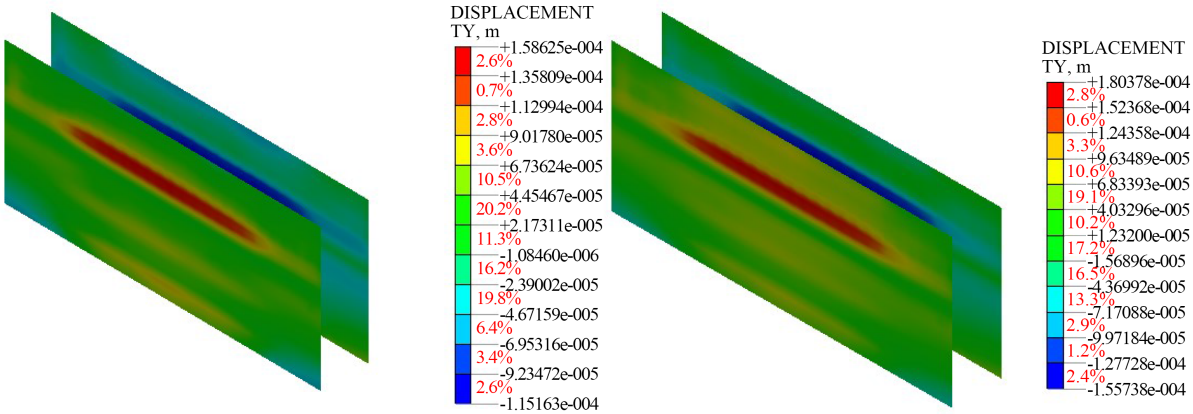


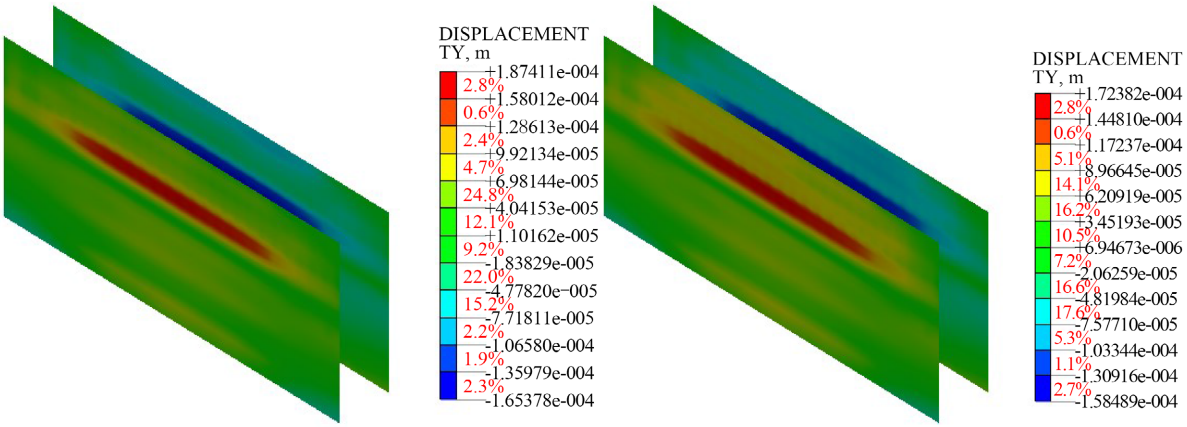

**Figure 4.** Surface settlement of foundation pit before and after reinforcement of soil around bridge foundation
**图 4.** 桥基周围土体加固前后施工引起的基坑地表沉降

2) 地连墙侧向变形

根据计算结果整理得到压缩模量提升不同程度时，桥基施工完成后地下连续墙侧移变化如图 5 所示。




(a) 未加固　　(b) 压缩模量提升 50%




(c) 压缩模量提升 100%　　(d) 压缩模量提升 200%

**Figure 5.** Lateral displacement of diaphragm wall before and after reinforcing soil around bridge foundation
**图 5.** 桥基周围土体加固前后地连墙侧移云图

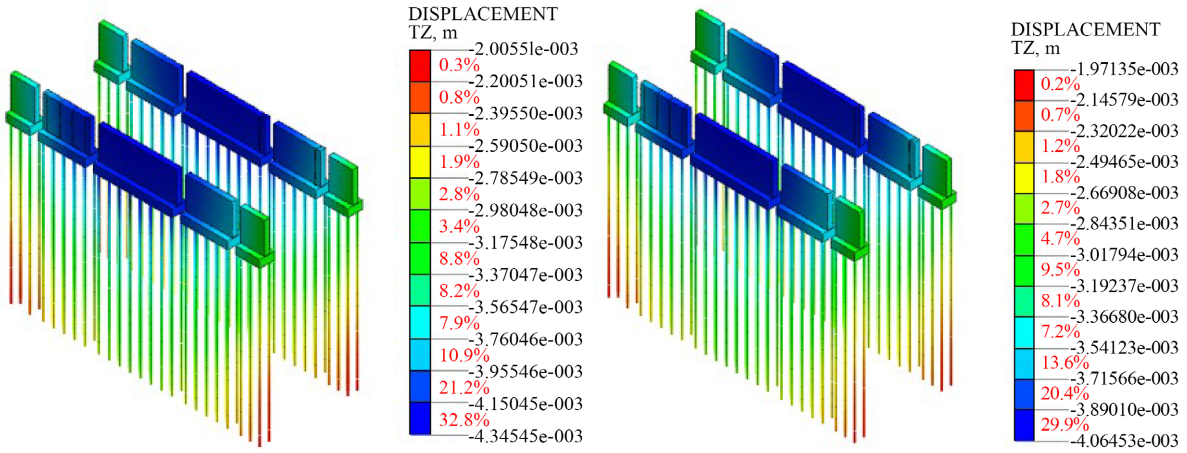
由图 5 分析知，地连墙在未加固时最大侧移为 0.11 mm。压缩模量提高 50%后，地连墙最大侧移增大到 0.15 mm；压缩模量提高 100%后，地连墙最大侧移增大到 0.17 mm；压缩模量提高 200%后，地连墙最大侧移增大为 0.16 mm。可见桥墩四周土体经过加固后，对基坑地表沉降以及地连墙侧移影响不大。因为基坑的支护结构地连墙已经将桥墩部分和基坑部分相分割，所以对于桥墩部分的施工对基坑影响很小。并且加固后地连墙侧移有增大趋势，代表土体加固会对地连墙有挤压作用，也说明本工程原来的基坑支护方案比较完善合理。

3) 高架桥桥基沉降

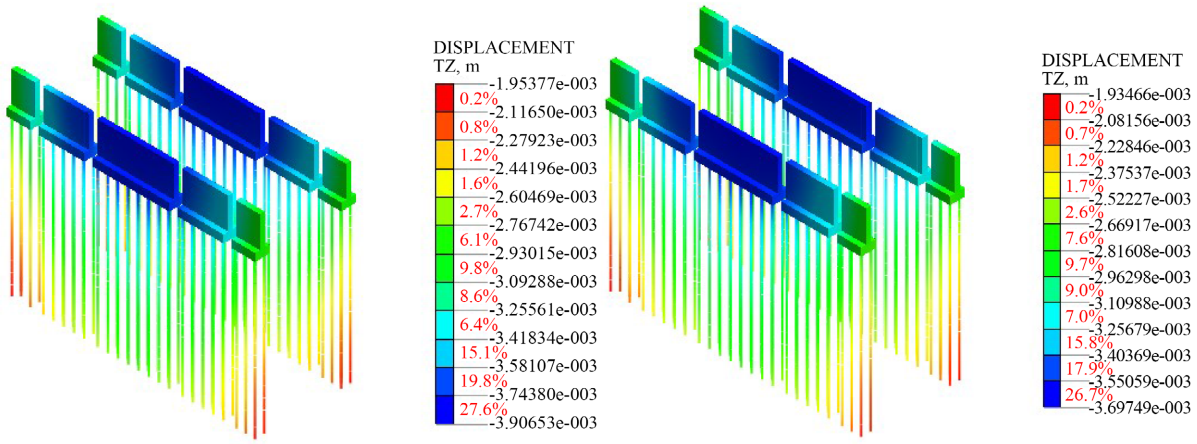
根据计算结果，整理出压缩模量提升不同程度前后桥基沉降云图，如图 6 所示。

由于基坑地表变形会牵连桥基，将桥基施工完成后 II-II’截面地表沉降与距离 I-I’截面的距离关系整理成图 7 所示。

可以发现桥基周围地表沉降为两端小，中间大的盆型曲线。在一定范围内，压缩模量提升越多，桥基沉降则越小。压缩模量提升 50%后，相比未提升沉降量减小 6.5%；压缩模量提升 100%后，相比未提升沉降量减小 10.1%；压缩模量提升 200%后，相比未提升沉降量减小 15.0%。




(a) 未加固　　(b) 压缩模量提升 50%




(c) 压缩模量提升 100%　　(d) 压缩模量提升 200%

**Figure 6.** Displacement of bridge foundation before and after reinforcement of bridge foundation
**图 6.** 桥基周围土体加固前后桥基沉降变形云图

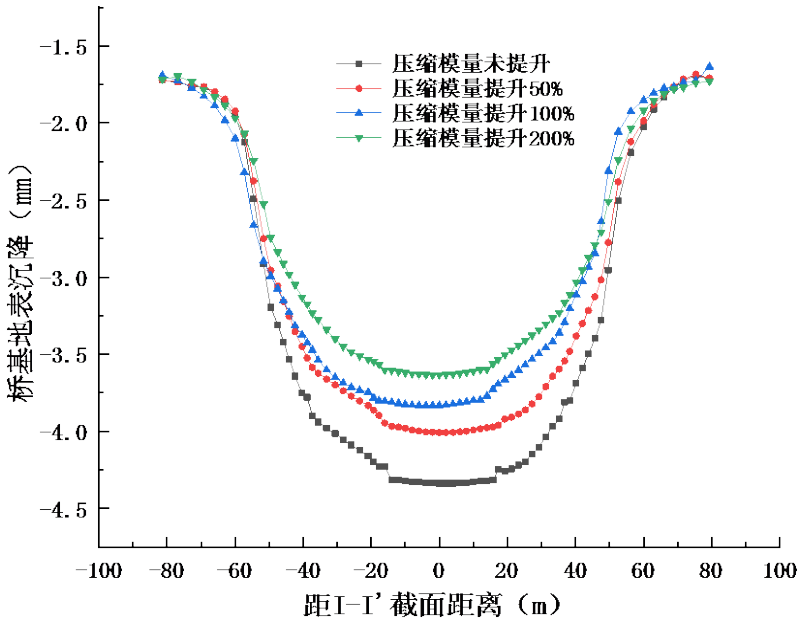



**Figure 7.** Foundation pit surface displacement of II-II’ section
**图 7.** II-II’截面基坑地表沉降图

## 4.2. 加固范围的影响

为了研究加固范围对土体加固的影响，将桥基周围土体划分为 3 个加固范围。其中基坑两侧加固范围 1 的长为 107 m，宽度为 14 m，横向距离桥基承台外侧 8 m，纵向距离最外侧桥基承台 5 m。加固范围 2 的长为 120 m，宽度为 22 m，横向距离桥基承台外侧 14 m，纵向距离最外侧桥基承台 12 m。加固范围 3 的长为 132 m，宽度为 28 m，横向距离桥基承台外侧 20 m，纵向距离最外侧桥基承台 18 m。加固分区如图 8 所示。

为使结果区分度更为显著，选择将上述范围内压缩模量均加固提升 200%，得到基坑沉降云图如图 9 所示。

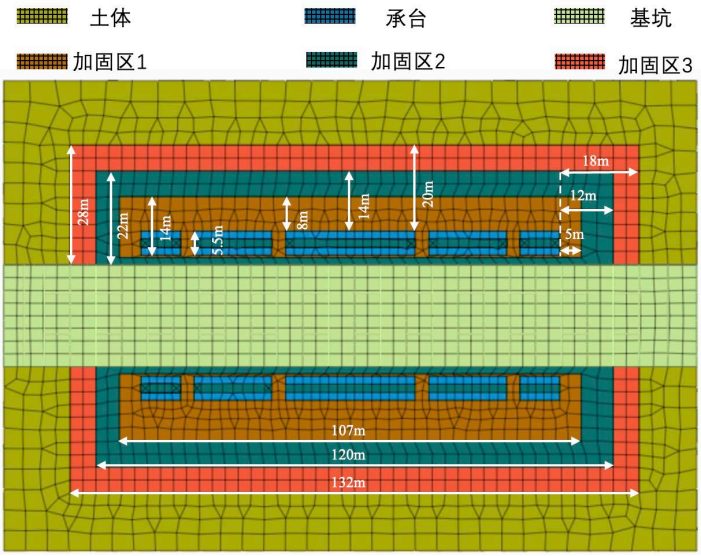



**Figure 8.** Reinforcement area partition diagram
**图 8.** 加固范围分区图

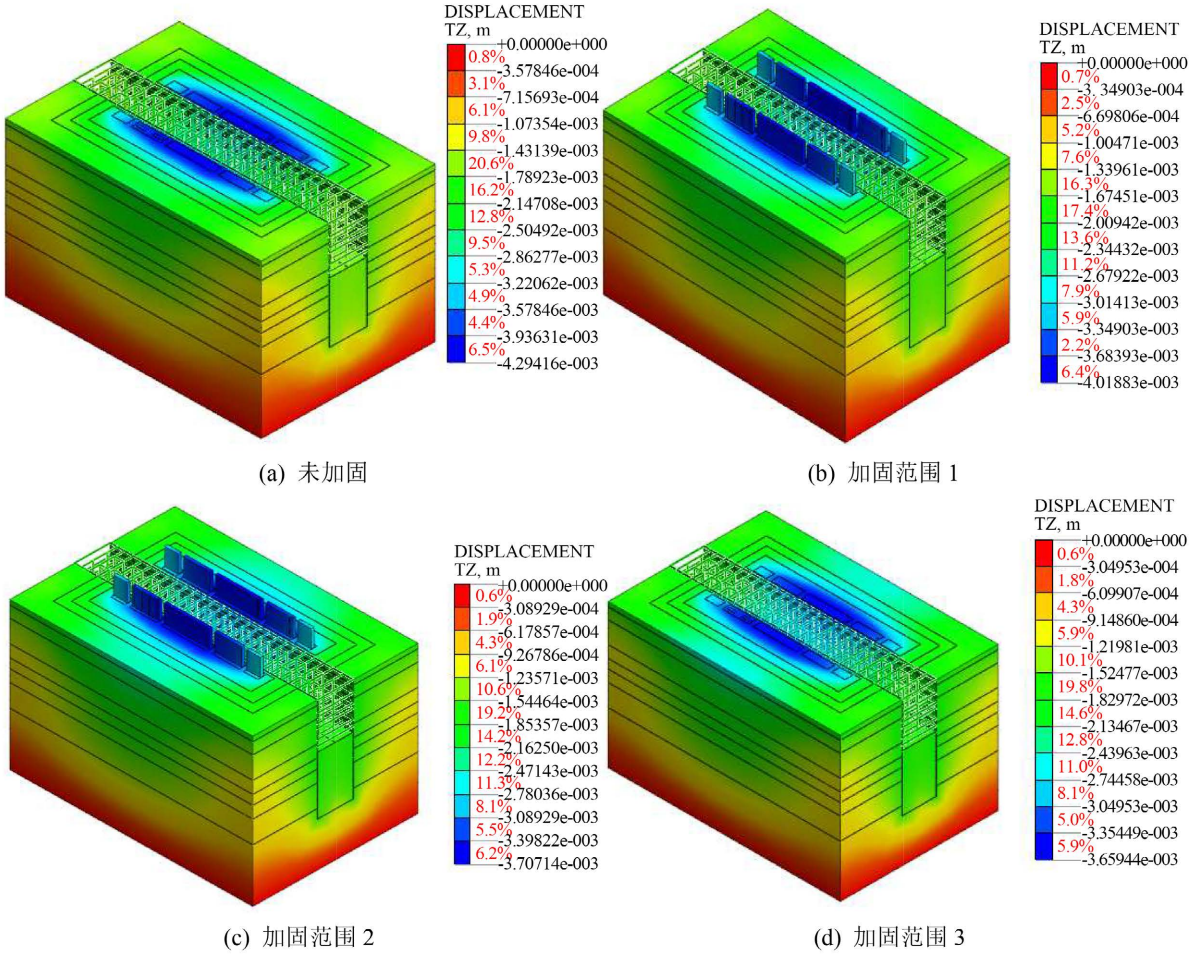



**Figure 9.** Foundation pit settlement with different reinforcement areas
**图 9.** 不同加固范围下基坑沉降云图

取 I-I’截面地表沉降整理成图 10 分析。在未加固情况下，基坑地表沉降最大为 4.34 mm；在加固范围 1 时，地表最大沉降减小为 4.15 mm；加固范围扩大为范围 2 时，地表最大沉降减小为 3.9 mm；加固范围扩大为范围 3 时，地表沉降减小为 3.88 mm。可见，在加固范围小于范围 2 时，对减小地表沉降效果比较明显，继续增大则效果不太明显。

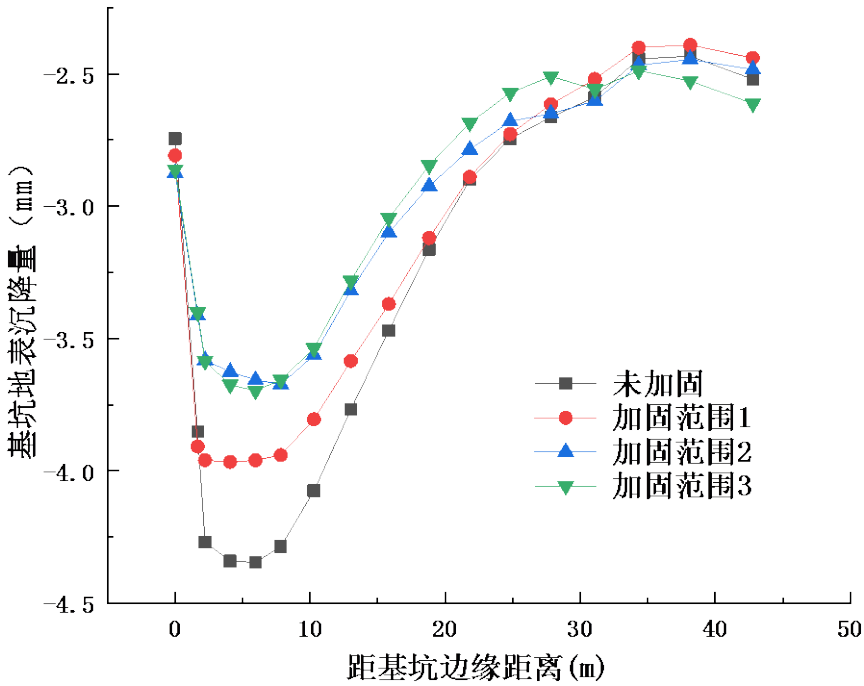
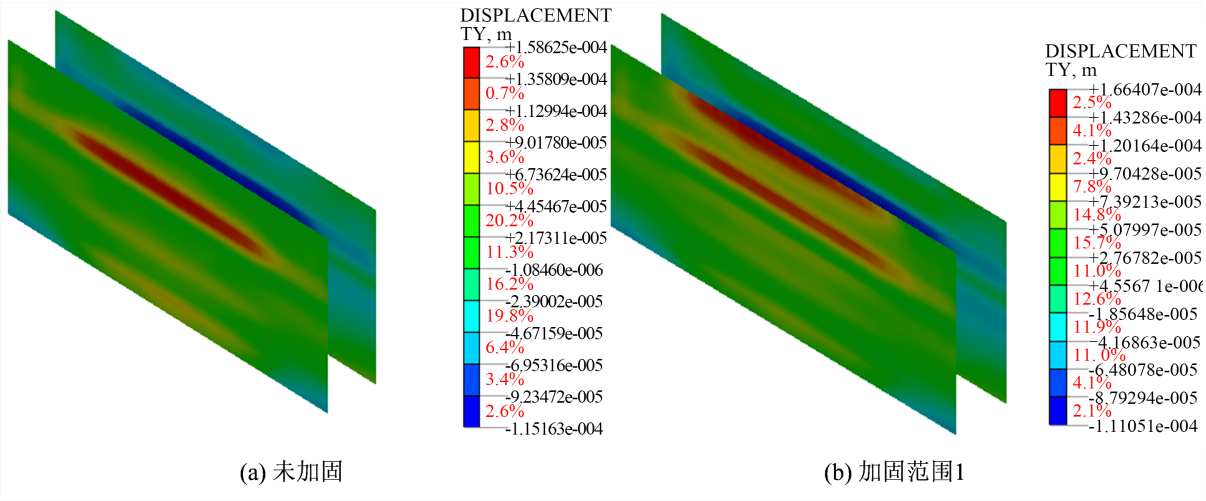



**Figure 10.** Settlement of foundation pit in mid-span cross-section with different reinforcement areas

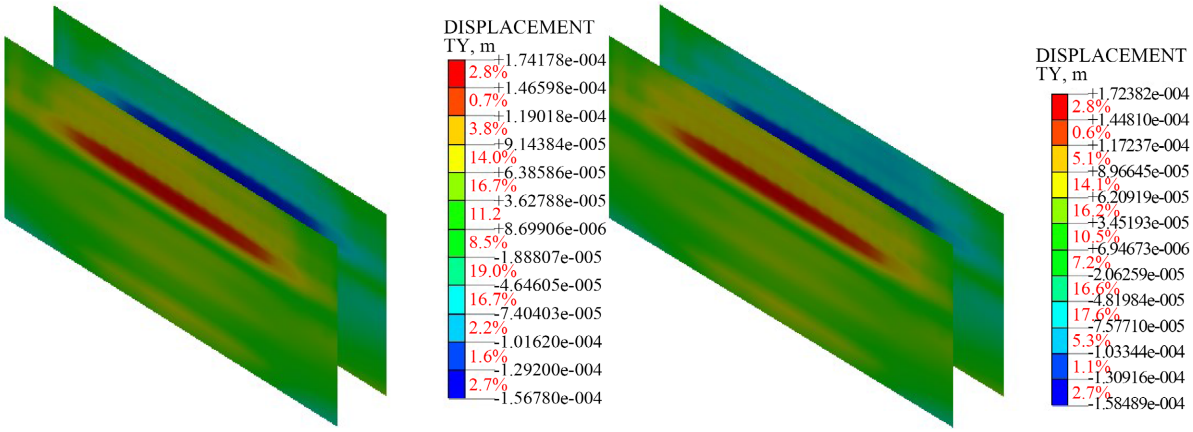
**图 10.** 不同加固范围内基坑跨中截面地表沉降图

2) 地下连续墙

根据计算结果整理出采用不同加固范围后地下连续墙侧移变化如图 11 所示。




(a) 未加固　　(b) 加固范围1




(c) 加固范围 2　　(d) 加固范围 3

**Figure 11.** Lateral displacement of diaphragm wall with different reinforcement areas
**图 11.** 不同加固范围内地下连续墙侧向变形图

由图 11 变形云图可知，扩大加固范围会使地下连续墙侧向位移微弱增长，这是由于加固范围增加较大时，会对地下连续墙有一定挤压作用。但从图中可以发现地连墙并未发生明显侧移，代表桥基施工对基坑侧向挤压作用不明显，不会影响地下连续墙的槽壁稳定性，代表原有的施工方案是安全可靠的。

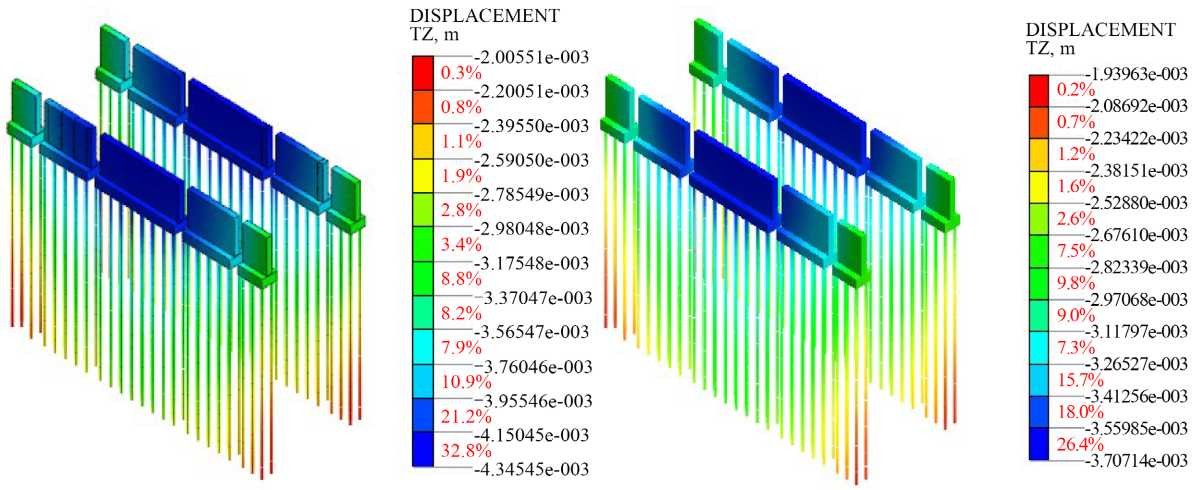
3) 高架桥桥基沉降变形

根据计算结果整理出采用不同加固范围前后桥基的变形云图如图 12 所示。

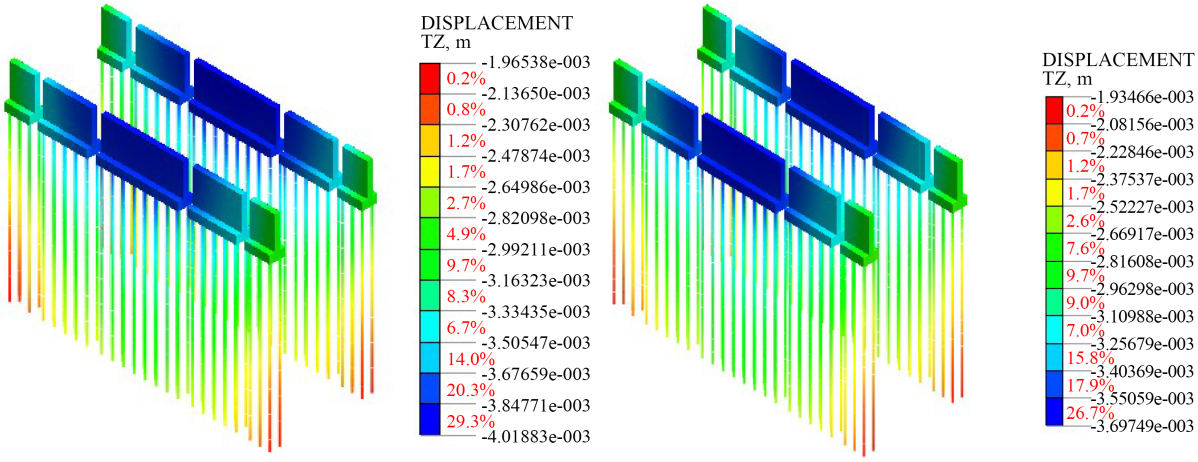
将 II-II’截面基坑地表沉降数据整理成图 13 所示。发现沿桥基纵向的基坑地表沉降随着加固范围增大而减小，加固范围 1 和加固范围 2 相比未加固，基坑地表沉降都有明显减小。但加固范围到一定程度后，基坑地表沉降将不再变化，因此需要选择合理的加固范围，避免资源浪费和成本提高。

## 5. 结论

本文利用 Midas GTS 软件，对高架桥桥基与地下车站深基坑近距离施工土体加固参数的相互影响进行数值模拟，分析了高架桥桥基周围土体采用不同加固土性和不同加固范围时，高架桥桥基与深基坑的受力变形规律，可初步得出如下结论。




(a) 未加固　　(b) 加固范围 1




(c) 加固范围 2　　(d) 加固范围 3

**Figure 12.** Pile foundation settlement with different reinforcement areas
**图 12.** 不同加固范围桩基沉降

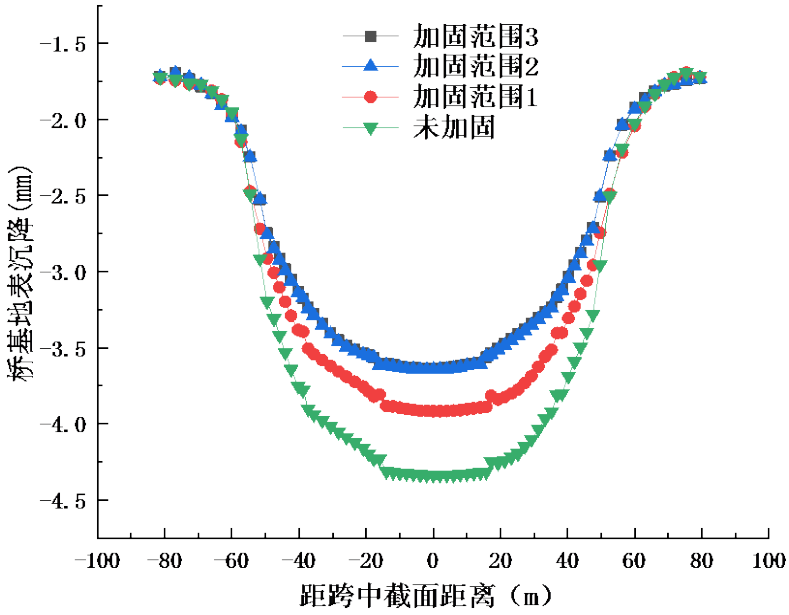



**Figure 13.** Surface settlement in II-II' section with different reinforcement areas
**图 13.** 不同加固范围 II-II'截面地表沉降

1) 对桥基周围土体进行加固，以提高土体的工程性质，可减小基坑地表沉降和桥基沉降。在提高加固体压缩模量 1 倍以前，每提高压缩模量 50%，基坑地表最大沉降约减小 5%，但在提高 1 倍以后，提高压缩模量产生的加固效果逐渐减弱。

2) 基坑地表沉降还与桥基四周加固范围有关，在加固范围扩大至横向距离桥台 14 m，纵向距离桥台 12 m 以内时，加固效果与加固范围成正比。但超过该范围后，扩大加固范围并不能提高加固效果。因此需要根据工程容许沉降，选择加固范围 2 以内，既可以减少施工的相互影响，又可以降低工程施工投资。

3) 数值分析结果发现桥基施工并不会引起明显地连墙侧移，并且土体加固的挤压作用还会使地连墙侧移有所增加，但增加并不明显，不会影响地下连续墙的槽壁稳定性。

4) 基坑开挖后，桥基纵向的地表沉降呈现出两边小，中间大的盆形曲线。加固范围小于加固范围 2 时，扩大加固范围可以有效减小桥基沉降；一旦超过该范围后，继续扩大加固范围对减小桥基沉降并无太大作用，因此应该对桥基中心处着重加固和监测。

## 参考文献


[1] 耿晔宽, 高芬芬, 周成君. 深厚软土地区基坑大变形机理与控制对策研究[J]. 岩土工程技术, 2018, 32(6): 313-316.

[2] 朱斌. 软土深基坑支护结构失稳分析及处理技术[C]. 2007 年中国城市地下空间开发高峰论坛论文汇编. 上海: 中国市政工程协会, 2007: 182-185.

[3] 马辉. 高速公路桥梁下方近距离施作基坑保护方案设计[J]. 建材与装饰, 2019(1): 2.

[4] 李龙剑, 李政林, 蔡永昌, 等. 基坑开挖对邻近桥梁桩基的影响分析[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(z2): 1697-1701.

[5] 王恒, 陈福全, 林海. 基坑开挖对邻近桥梁桩基的影响与加固分析[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(5): 9.

[6] 郑俊杰, 章荣军, 丁烈云, 等. 基坑被动区加固的位移控制效果及参数分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(5): 1042-1051.

[7] 温淑荔. 深基坑开挖对紧邻建筑物影响分析及加固措施优化研究[J]. 现代隧道技术, 2020, 57(4): 98-103.

[8] 胡建林, 孙利成, 崔宏环, 等. 基于修正摩尔库伦模型的深基坑变形数值分析[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(18): 7717-7723.

[9] 白永学. 软土地铁车站深基坑变形的影响因素及其控制措施[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2006: 50.

[10] 李立新. 旋喷桩、SMW 桩在基坑围护结构中的应用[J]. 铁道工程学报, 2009(3): 11-14.