

【新装备新工艺】

## 地固件工法与实践

刁钰<sup>1</sup>, 陈津生<sup>2</sup>, 王立祥<sup>2</sup>, 孙万里<sup>1</sup>, 高振洲<sup>3</sup>, 田卫国<sup>3</sup>

(1. 天津大学 土木工程系, 天津 300072; 2. 天津鼎元软地基科技发展股份有限公司, 天津 300051;  
3. 中国建筑第六工程局华南基础设施工程有限公司, 广东 深圳 518101)

**摘要:** 地固件在常规土工袋基础上, 增加了中心和角部高强加强带, 性能得到了大幅度提升。试验研究和工程实践结果表明地固件由于内外约束作用, 具有高抗压强度, 可应用于填埋工程。地固件由于其柔性保形作用、排水成壳作用、应力扩散作用, 可应用于超软基处理。地固件由于耗能减压作用, 具有减振隔震功能。

**关键词:** 地固件; 软基; 地基处理; 污染物填埋; 减振隔震

**中图分类号:** TU43      **文献标识码:** A      **文章编号:** 2096-7195(2020)03-0264-07

### Construction method and practice of divided box

DIAO Yu<sup>1</sup>, CHEN Jin-sheng<sup>2</sup>, WANG Li-xiang<sup>2</sup>, SUN Wan-li<sup>1</sup>, GAO Zhen-zhou<sup>3</sup>, TIAN Wei-guo<sup>3</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Tianjin Dingyuan Soft Foundation Technology Development Co., Ltd., Tianjin 300051, China;

3. South China Infrastructure Engineering Co., Ltd., China Construction Sixth Engineering Bureau. Shenzhen 518101, China)

**Abstract:** Based on the traditional soil bag, the divided box was filled with the reinforced band in the center and corner, and its performance has been greatly improved. The results of experimental research and engineering practice show that the divided box has high compressive strength due to internal and external constraints and can be applied to landfill projects. The divided box can keep flexible shape and form stiff crust produced by drainage and stress diffusion effect, which can be applied to the treatment for super soft foundation. The divided box can also be employed on the vibration mitigation and seismic isolation due to its effect of energy dissipation and excessive pore pressure dissipation.

**Key words:** divided box; soft ground; ground improvement; pollutant landfill; vibration mitigation and seismic isolation

## 0 引言

地固件<sup>[1]</sup>是地基加固构件的简称, 是一种新型的土工袋, 由天津鼎元软地基科技发展股份有限公司于 2010 年首次从日本引进的新产品、新工艺, 英文名为 Divided Box。传统土工袋将土料装入袋体, 填充土料受土工袋基布的张力作用和约束, 填充料之间产生摩擦力, 从而使其强度增大<sup>[2-3]</sup>, 由于传统土工袋土体的剪切变形, 故它在软基之上较难维持自身形状和抵制自身的沉降。地固件在传统土工袋的基础上, 增加了导向架(小型地固件)或中心和角部 8~12 条高强桁架带(大型地固件), 形成内部约束, 如图 1 所示, 从而具有形状保持的功能。

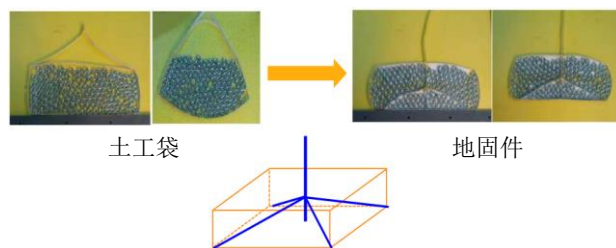


图 1 土工袋与地固件对比示意图

Fig. 1 Schematic diagram of soil bag and divided box

## 1 工法简介

图 2 为在地固件现场制作流程。地固件典型尺寸为 1.5 m×1.5 m×0.45 m, 制作时首先把袋状地固件放置于等尺寸刚性箱中, 将内部约束吊带悬吊张

收稿日期: 2020-03-31

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC08022008); 天津市自然科学基金(19JCYBC22200)。

作者简介: 刁钰(1982—), 男, 副教授, 博士, 主要从事岩土工程与地下工程的教学与科研工作。E-mail: yudiao@tju.edu.cn。

开, 填入碎石或砂子等填料。通过自带高强闭合带封闭地固件, 最后利用吊带端部吊环吊装应用。

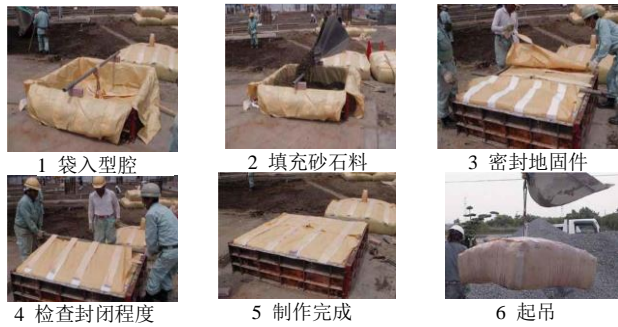


图2 地固件填充制作过程  
Fig. 2 Procedure of divided box filling

地固件施工流程简便, 如图3所示, 包括工作面的平整、填充填料、制成地固件、起吊、加压安装、通常采用挖机按压放置、进一步夯实排水、完成铺装、最后找平即可。

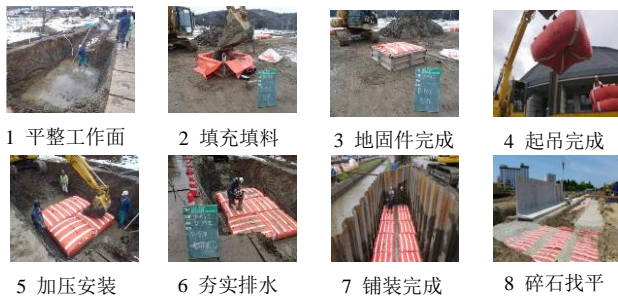


图3 地固件施工  
Fig. 3 Construction of divided box

地固件具有广泛的应用场景, 主要包括超软基加固、减振隔震、污染物填埋, 具有绿色环保、装配式快速施工等优点, 见图4。

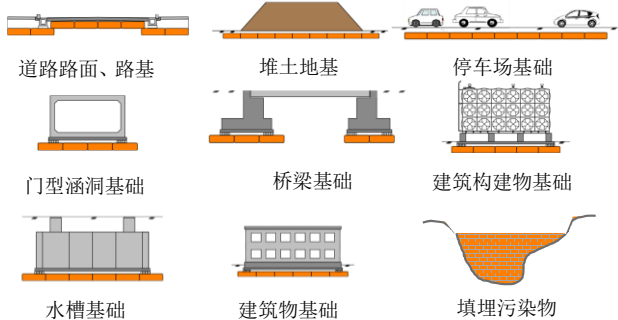


图4 地固件的应用  
Fig. 4 Applications of divided box

地固件工法<sup>[4]</sup>问世以来已在日本本土实现2 000余成功案例, 积累了大量宝贵的施工经验以及数据。该工法于2019年取得了日本沿海城市岩土工程关于道路通行稳定性的工法认证以及日本

土木工程建筑行业的工法认证。国内目前处于推广阶段, 已在超软基临时道路以及液化对策(液化对策指在防治砂土液化地区的应用, 在下文工程案例, SG-8拱桥施工, 土体软弱, 粉土液化, 地固件施工体现了其抗液化性能, 在应用分类里面有体现)等施工项目中得到成功应用。地固件应用分类及应用发展数据见图5、图6。

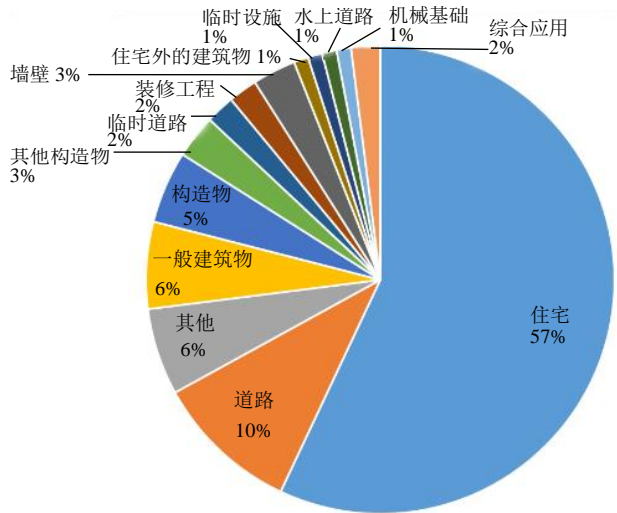


图5 地固件应用分类  
Fig. 5 Application classification of divided box



图6 地固件日本应用案例发展  
Fig. 6 Development of divided box in Japan

## 2 工作机理

### 2.1 内外约束作用

目前地固件一个重要的实际应用是用于将福岛核电站核污染土及杂物焚烧后装入地固件在山谷中填埋。为探究深埋条件下地固件的承载力, 鼎元公司和天津大学做了填料为干砂和碎石的地固件抗压试验<sup>[5]</sup>, 如图7所示。干砂级配良好,  $d_{50}=0.8\text{ mm}$ , 摩擦角  $31.3^\circ$ ; 碎石粒径均匀, 粒径多为  $40\text{ mm}$  左右, 摩擦角  $43^\circ$ 。试验结果表明, 对于  $1\text{ m}\times 1\text{ m}\times 0.25\text{ m}$  的地固件, 其在高达  $14\ 700\text{ kN}$  的压力下承载力并未降低, 同时刚度随受压不断增

大，显示出了很好的压密与约束作用。同时可知级配良好的干砂刚度要大于颗粒均匀的碎石刚度。

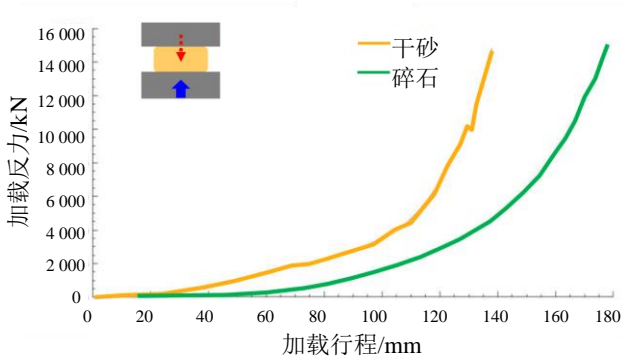


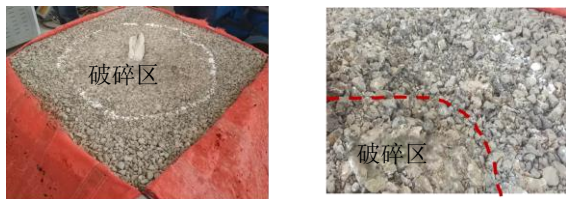
图7 地固件抗压试验

Fig. 7 Compression test of divided box

试验还表明，在压力荷载下，地固件存在显著的应力不均匀现象，中心处干砂和碎石颗粒均出现了颗粒破碎现象，如图8所示。这就证明了在地固件构件层面，存在内外约束双重作用。相比于传统土工袋仅有外部基布约束，地固件还具有吊带的内部约束，因此在受压时，受力机制更加复杂，导致了内部应力显著不均匀。



(a) 干砂颗粒破碎整体与局部图像



(b) 碎石颗粒破碎整体与局部图像

图8 地固件填料破碎图像

Fig. 8 Breakage of the filling in divided box

### 2.2 排水成壳作用

在软基上地固件施工过程中，需要加压按入和夯实，这样会使地固件下部产生很大的超孔压，由于地固件具有很好的排水特性，因此会在下侧形成硬壳层，从而提高了地基承载能力，如图9所示。

### 2.3 应力扩散作用

超软地基工况下，地固件的第3个作用是应力扩散作用，它起到一个垫层作用，当多层铺设时该作用就更加明显了。值得注意的是，由于地固件本身存在基布和中心吊带的约束加强作用，因此计算

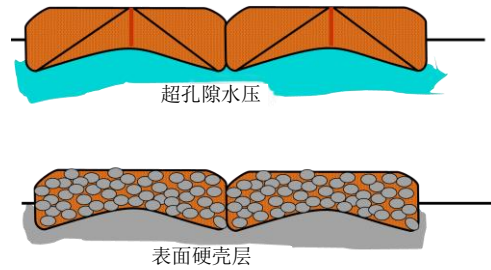


图9 地固件排水成壳作用

Fig. 9 Stiff crust produced by drainage of divided box

垫层作用时其扩散角要大于地固件的填料扩散角。

### 2.4 柔性保形作用

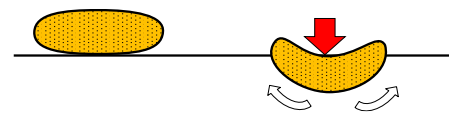
对于超软地基道路应用工况，地固件具有柔性保形的作用。

传统土工袋在超软地基上，由于保形能力差，容易产生过大变形，下部地基发生局部破坏，影响地基承载能力的发挥，如图10(a)所示。

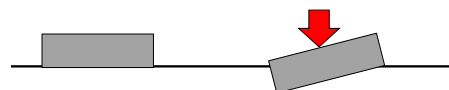
混凝土构件虽然保形能力强，但在超软基上，由于刚性过大，容易产生整体旋转，下部地基发生局部破坏，影响地基承载能力的发挥，如图10(b)所示。

地固件由于内部约束具有很强的保形作用，同时又是柔性构件，不会如混凝土构件一样，刚性过大，容易发生旋转，如图10(c)所示。因此，地固件兼具土工袋和混凝土构件的优点，自适应能力很强。

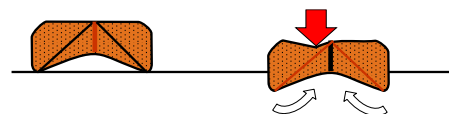
此外，在安装起吊时，地固件下部产生锥形坑，铺设在软基上之后，下部土体进入锥形坑，固结形成锥形体，进一步有利于地基承载力的发挥，如图11所示。



(a) 软基上土工袋受力变形示意图



(b) 软基上混凝土受力变形示意图



(c) 软基上地固件受力变形示意图

图10 土工袋、混凝土与地固件对比

Fig. 10 Comparison of soilbag, reinforced concrete and divided box



图 11 地固件锥形坑

Fig. 11 Conical pit of divided box

为了验证上述作用, 在深厚的淤泥质地基上进行了地固件和钢板的加载试验。试验地层为深厚的淤泥质黏土。呈现褐灰色、流塑、厚层状、高压缩性、土质不均, 局部为淤泥或淤泥质粉质黏土、干剪强度高、韧性高、物理力学性质差。该层全场分布, 层厚最大达 10.6 m。试验布置如图 12 所示, 地固件和等尺寸钢板 (1.5 m×1.5 m×0.1 m) 铺设于上述软基之上, 上部加载 5 t 荷载, 监测表面 4 个角点沉降和中心点之下 1 m, 2 m 和 3 m 的孔压。

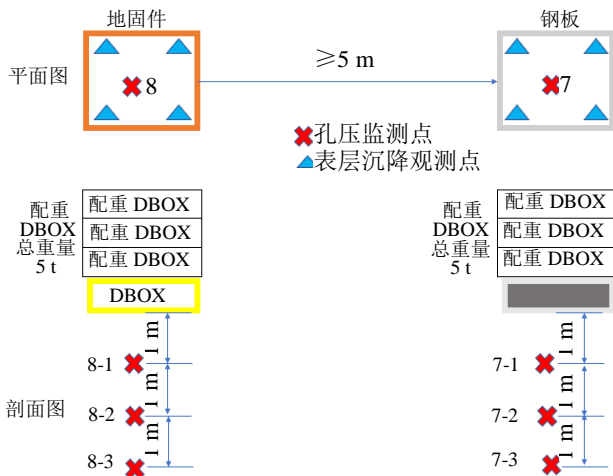
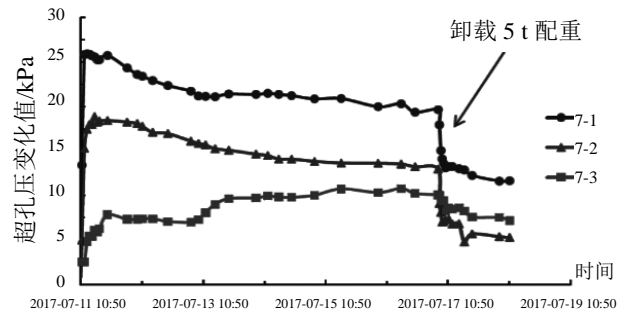


图 12 软基上地固件与钢板加载试验

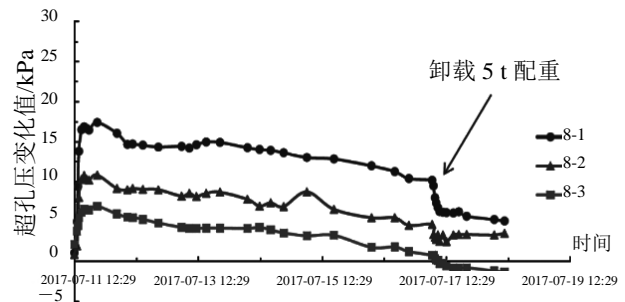
Fig. 12 Loading test of divided box and steel plate on soft ground

图 13 为试验过程中, 钢板和地固件下方不同深度处超孔压发展规律。在 5 t 的荷载作用下, 钢板的初始孔压明显大于地固件; 同时, 地固件的孔压消散程度明显大于钢板, 这源于地固件良好的排水性能。进一步可知, 其下部存在排水成壳作用。

图 14 为试验过程中, 钢板和地固件表面的沉降发生过程。沉降方面, 钢板的最大沉降是地固件的 6 倍。差异沉降方面, 钢板发生了旋转, 部分角点发生了翘起, 差异沉降是地固件的 25 倍。充分说明了地固件柔性保形作用。



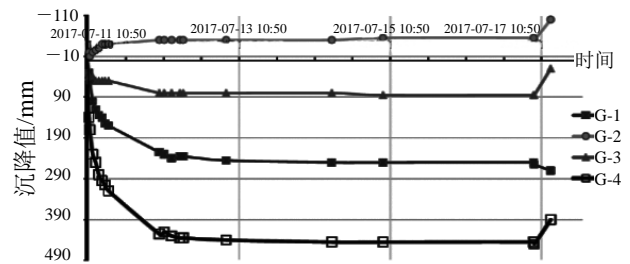
(a) 钢板



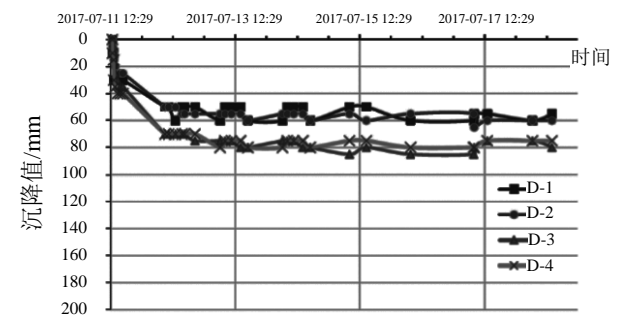
(b) 地固件

图 13 软基上地固件与钢板加载试验超孔压图

Fig. 13 Excessive pore water pressure of divided box and steel plate on soft ground



(a) 钢板



(b) 地固件

图 14 软基上地固件与钢板加载试验沉降图

Fig. 14 Settlements of divided box and steel plate on soft ground

### 2.5 填料耗能作用

在减振隔震工况方面, 主要利用了填料的摩擦耗能作用, 同时地基发生液化时, 也可发挥其排水

减压的作用。图 15 为地固件基础与混凝土模型振动台试验。由图可知，在振动台开始试验一段时间，地固件基础的房屋保持完好，并无大幅度倾斜和下沉，基础周围并无大量水溢出，相反，混凝土基础的房屋在振动试验过程中，由于振动而大幅度晃动，基础下沉，最后坍塌。地固件内部为散体颗粒，袋体的约束作用，在振动时颗粒之间接触摩擦可有效削弱振动能量，下部凹槽可短时汇聚下部水，充当支撑反力，慢慢消散，不会导致基础大幅度倾斜。基础地固件具有良好的隔震和抗液化能力。

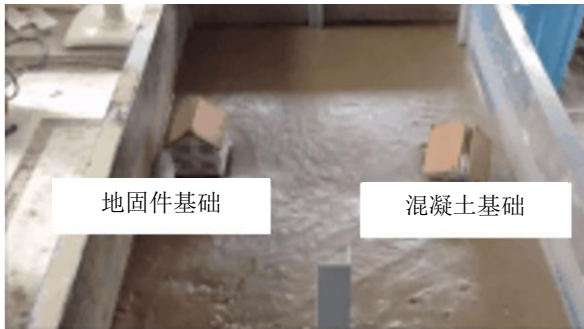


图 15 地固件基础与混凝土基础振动台模型试验  
Fig. 15 Shaking table tests on divided box and concrete foundation

关于地固件减振性能，也进行现场实测。图 16 为日本某道路因为交通振动问题，采用地固件进行减振。该工程为日本某公司修建的迂回道路，于 2009 年 12 月道路开始使用，与道路邻接的居民因交通振动引发的睡眠障碍和佛龛牌位、蜡烛移动等现象而申诉，因此，施工公司采用了地固件进行减振。

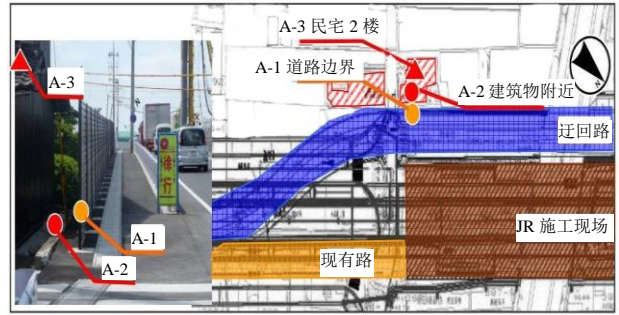
由图 17 实测结果可知，采用地固件后，振动加速度降低 10 dB。

### 3 工程案例<sup>[6]</sup>

#### 3.1 SG-8 城铁绍兴拱桥施工场地项目

该场地上部拟施工拱桥，需要承受施工荷载。但土质很软，含水量近 60%，恰逢雨季施工，场地土体非常软弱。3 号场区道路空腹式拱桥的临时地基加固项目，用于拱桥的主体结构施工。挖掘机在坑底作业时深陷泥沼，淹没大半。最后用吊车吊起，其电路主控板全部损坏。10 块作为挖掘机垫板的 6 m 长钢板陷入地基。

采用地固件工法处理，拱桥底部拟建地基加固范围约 24 m×15 m。采用 600 t 堆载预压模拟施工荷载，最大累计沉降 1.9 cm，满足施工变形要求。如



(a) 平面图



(b) 施工现场

图 16 地固件减振动工程

Fig. 16 Project of vibration mitigation using divided box

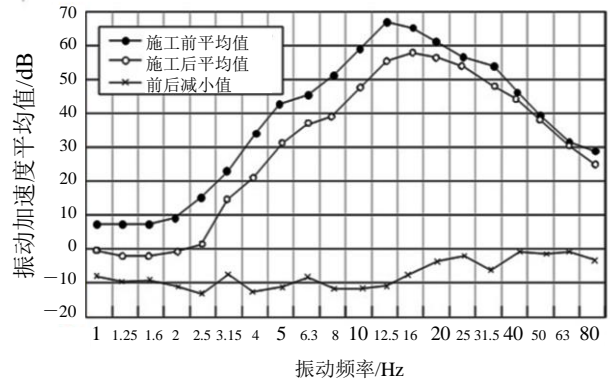


图 17 采用地固件前后建筑振动加速度实测

Fig. 17 Vibration acceleration of building before and after using divided box

图 18 所示。

#### 3.2 缅甸铁道部铁路路基项目

该项目所在地缅甸，为亚热带气候，雨水常常淹没铁轨，沉降达 30 cm 以上。超软土 8 m，含水量达到 80%。列车时速只有 20~30 km/h。如图 19 所示。

当地碎石资源缺乏，使用砂作为填充物。地固件处理后，铁路路基工后沉降控制在 2 cm 之内，时速达到 60 km/h。如图 20 所示。



(a) 施工前场地



(b) 地固件施工



(c) 施工混凝土垫层



(d) 堆载预压模拟施工荷载

图 18 地固件和混凝土对比

Fig. 18 Comparison of divided box and concrete foundation



(a) 施工前路基



(b) 地固件施工过程

图 19 缅甸铁道项目

Fig. 19 Railway project in Myanmar

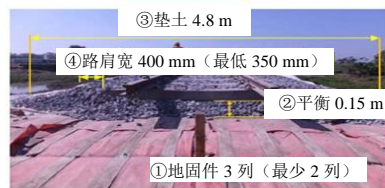
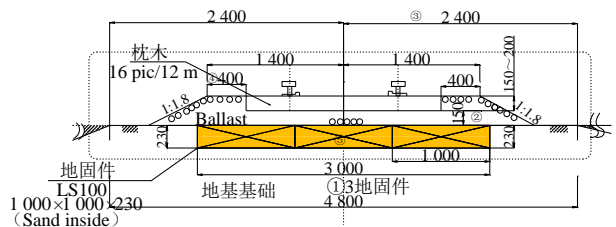


图 20 缅甸铁道项目地固件施工要求

Fig. 20 Details of divided box in Myanmar railway project

### 3.3 日本福岛辐射污染物填埋项目

2011年福岛第一核电站发生事故后,福岛县内多地遭受严重放射性污染。废弃物为放射性铯活度8 000~100 000/kg 贝克勒尔的污泥、焚烧灰、稻秆、瓦砾等灾害废弃物及周边地区的生活垃圾也将一并填埋。放射性废弃物填埋至专用填埋山谷中。3号炉的拆毁建筑垃圾具有高辐射的放射性废弃物,通过燃烧处理后,采用地固件装填,分层填埋。如

图 21 所示,地固件铺设完成后的效果如图 22 所示。



图 21 地固件装填的垃圾填埋场

Fig. 21 Pollution landfill using divided box

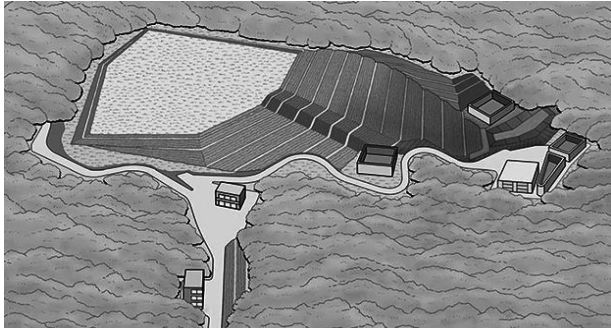


图 22 地固件装填的填埋场完成效果图

Fig. 22 Rendering schematic of pollution landfill using divided box

## 4 结 论

本文介绍了地固件的工法,通过目前的初步试验,揭示了其主要工作机理,并给出了地固件在污染物填埋、软基处理、减振隔震等方面的工程案例。

### 【简讯】

#### 第三届全国交通岩土工程学术会议（一号通知）

##### 一、会议时间与地点

拟定会议时间 2020 年 11 月初,地点:南京

##### 二、主办单位

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会交通岩土工程专业委员会

##### 三、承办单位

东南大学

江苏省岩土力学与工程学会

##### 四、会议专题

征文内容涵盖交通岩土工程的研究领域,主要包括:

- (1) 交通基础设施地基基础的勘察、设计、施工、检测和加固
- (2) 交通隧道和地下工程的设计、施工和运营

得到以下结论:

(1) 地固件由于内外约束作用,具有高抗压强度,可应用于填埋工程。

(2) 地固件由于其柔性保形作用、排水成壳作用、应力扩散作用,可以应用于超软基的处理。

(3) 地固件由于耗能减压作用,具有减振隔震功能。

地固件在我国尚处于初步研究和推广阶段。地固件在超软地基上荷载传递机制、孔压消散和长期变形特性、地固件-土体-结构体系的动力特性需要进一步深入系统的研究,从而提高其工程应用效果,形成设计计算方法,完善施工技术的标准化。

### 参考文献

- [1] 地固件设计施工手册(第四版)[Z]. 2019.
- [2] 松冈元. 土工袋技术手册[Z]. 2008.
- [3] 刘斯宏, 松冈元. 土工袋加固地基新技术[J]. 岩土力学, 2007, 28(8): 1665-1670.
- [4] 刘斯宏, 汪易森. 土工袋加固地基原理及其工程应用[J]. 岩土工程技术, 2007, 21(5): 221-225.
- [5] Q/120116 DY001-2019 地固件工法实施标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [6] 野本太, 陈津生. D. Box(地固件)工法应用于超软地基的效果与特色[C]//第十五届全国地基处理学术讨论会. 武汉, 2018.

(3) 交通基础设施地基处理

(4) 边坡与支挡结构

(5) 交通岩土工程抗震

(6) 车-路-地基共同作用

(7) 特殊土地区的交通岩土工程

(8) 交通基础工程环境保护与修复

(9) 轨道交通岩土及地下水问题

(10) 岩土工程智能化技术

##### 五、会议秘书处及联系方式

秘书长: 章定文 13813065390

秘书处: 丁建文, 邓永锋, 蔡国军, 李宏  
025-83795086

联系地址: 南京市江宁区东南大学路 2 号东南大学交通学院岩土工程研究所 邮编: 211189