

国际荷载分散型锚固构造新进展(一)

田裕甲

【提要】 本文是作者从1986年开始到韩国、日本、澳大利亚、美国等国考察开会交流时收集到的“荷载分散型锚固构造”等有关资料,以及与台湾岩土锚固界专家学者进行技术交流时收集到资料的基础上系统整理后,重点介绍日本、韩国的有关情况,以供从事岩土锚固工程技术人员参考。

现在所使用的岩土锚固结构大体上有拉力型和压力型。不管哪一种类型,其张拉力都是集中传递地基,这时地基及锚固体产生很多不利的影响。为此,通过试验,研究出一种锚固结构,即当张拉力传递给地基时,能使荷载分散的结构,以防止应力集中,减小应力、应变。该结果及荷载分散的有效性已得到了确认,在此报告如下。

对比试验之1为基础试验、之2为应力传递试验、之3为锚固结构,对基本试验进行说明。

一、荷载分散型锚固基础试验

1、分散结构

将弹性体的PC钢绞线作为锚索使用时,如果给锚索施加张拉力,则均匀地伸长。利用这一性质,在锚索上安装多个特殊随动挤压套,根据张拉力的大小,锚索产生相应的伸长。起初是靠最末端特殊随动挤压套将张拉力传给承载板,接着当达到所规定的张拉力除以特殊随动挤压套的个数而得到的张拉力时,张拉力就开始传到最末端第二个承载板。当张拉力达到规定张拉力除以挤压套个数所得的张拉力的2倍以上时,张拉力通过最末

端第三个挤压套传给承载板,依此类推,张拉力顺次传给下面的承载板,这样张拉力就被均等分散。在承载板的下部即前端一侧设有移动空间,相应于张拉力的大小而传递给承载板。

均等分散张拉力的特殊随动挤压套移动空间量的计算方法如图1所示。

$$S_1=0 \text{ mm(固定端)}$$

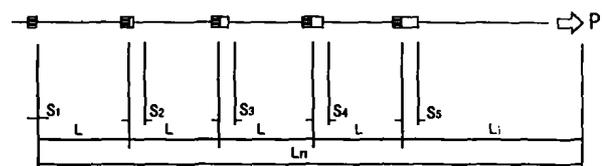


图1

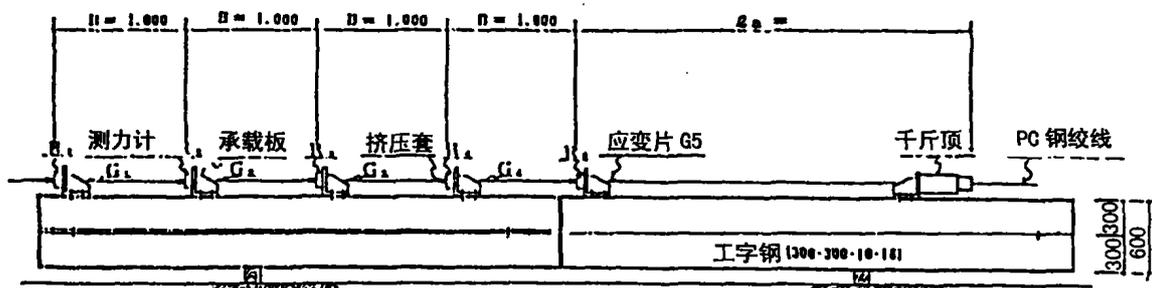


图2

$$S_2 = P \times L/n \times A \times E - S_1$$

$$S_3 = 2P \times 2L/n \times A \times E - S_2$$

$$S_4 = 3P \times 3L/n \times A \times E - S_3$$

$$S_5 = 4P \times 4L/n \times A \times E - S_4$$

其中

- S: 特殊随动挤压套移动量 (mm)
- n: 特殊随动挤压套的个数 (个)
- P: 张拉力 (tf)
- L: 承载体的间距 (mm)
- A: 预应力筋的截面积 (mm²)
- E: 预应力筋的弹性模量 (Kgf/mm²)

2、试验方法

试验装置如图 2 所示, 在工字钢上安装承载板和台座, 以 1m 为间距装上 5 个挤压套, 并在 PC 钢绞线上贴好应变片, 挤压套和承载板之间安装测力计, 设置出分散张拉力的移动空间, 张拉力用千斤顶施加, 并用测力计测量其大小, 各挤压套所处位置的锚索张拉力用应变计测定。

3、试验结果

从千斤顶荷载~测力计荷载曲线(图 3-1)可以看到, 张拉力基本上均等地被分散和传递。另外, 从千斤顶荷载~锚索应变曲线(图 3-2)看, 作用于锚索上的张拉力在各台座之间也大致均等按比例传递。

4、结论

在锚索上安装几个特殊随动挤压套, 并在各

挤压套的张拉一侧设置移动空间, 可以确认, 张拉力是均等作用于台座上的。如果将以上的试验结果应用于岩土锚固, 锚固体端部不会产生应力集中, 相应于特殊随动挤压套的个数而被均散。

正因为作用于锚固体上的张拉力被分散传递, 因而, 锚固体全锚固段得到均等的周边摩阻力, 成为安全性较高的地锚, 它将会被广泛应用。

二、荷载分散型锚固应力传递试验

1、前言

本试验是根据荷载分散型锚固的基础试验, 将荷载分散原理应用于锚索时, 对传递给锚固体的应力状态进行研究。在钢管中接近于实际锚固状态下制成试件, 对张拉试验的结果报告如下。

2、试件的制作

在无粘结 PC 钢绞线上等间距安装三个特殊随动挤压套, 用挤压套护罩罩住挤压套, 此时的移动空间量为张拉荷载 P=9.0tf 时相应的移动空间。为了测定张拉力的传递值, 在 PC 钢绞线上贴应变片。

试件分一次试件和二次试件制成。一次试件的制作是用 VP-65 的保护管, 将其分成两半, 在接口处相对于挤压套所在位置的两侧贴上应变片, 引出导线, 作为一次试件的模具, 在其中穿入锚索, 灌注水泥浆, 制成一次试件。待水泥浆固结后, 取下保护管, 与特殊随动挤压套对应且垂直于张拉方向装上应变砖, 引出导线, 将整个一次

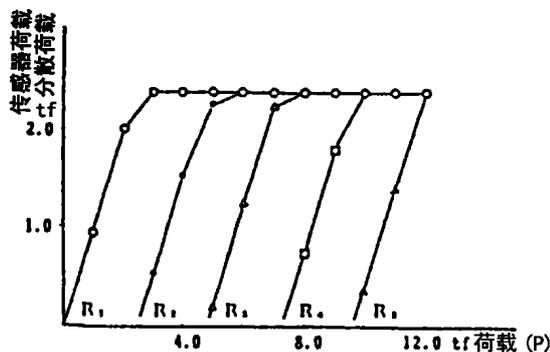


图 3-1 千斤顶荷载~测力计荷载曲线

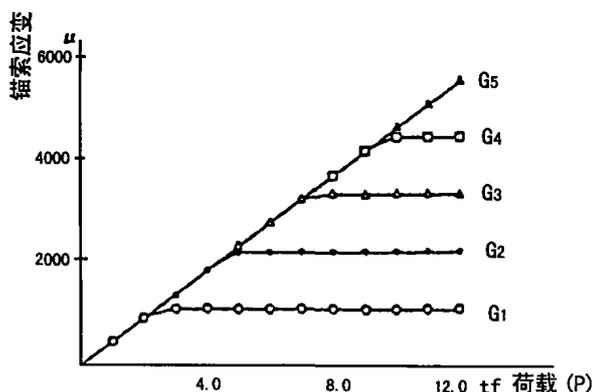


图 3-2 千斤顶荷载~锚索应变曲线

入贴有应变片的辅助钢丝。填充水泥浆，作为二次试件。

试件如图4所示。

3、试验结果

各个应变计的测定结果如图5荷载~应变曲线所示。

张拉力 $P=3.0tf$ 时，3个应变都等量变化，张拉力 $P=6.0tf$ 时， G_2 、 G_3 与 G_1 相比，基本成倍递增关系，张拉力 $P=9.0tf$ 时， G_3 应变是 G_1 的3倍， G_2 在该直线上，荷载被均等分散。

A轴应变如图6所示。

以挤压套头部为中心，前端部一侧出现拉应变，张拉端一侧出现压应变。随着张拉力的增大，应变也增大，对应的应变是从 G_1 向 G_3 顺次增大。应力呈区间分布。

B轴、C轴应变如图7所示。

以一次试件和二次试件为界，期望能掌握产生裂纹时的剪应力分布，测量的结果，压应变和拉应变都有相当大的偏差，且非定值。分析认为是应变计的安装方法有问题。

混凝土应变如图8所示。

以挤压套为中心，拉应变较大，两旁的应变

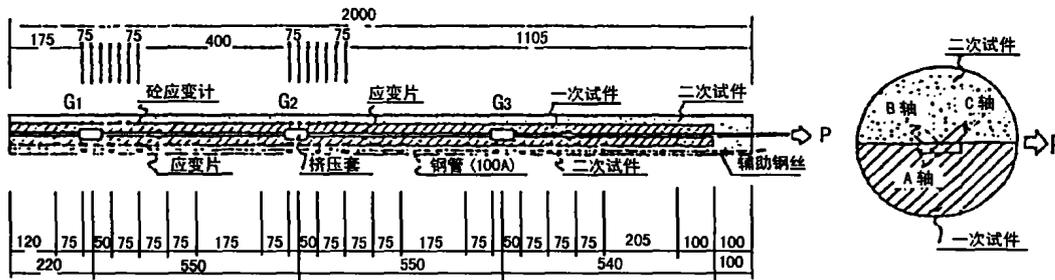


图4 试件加工图

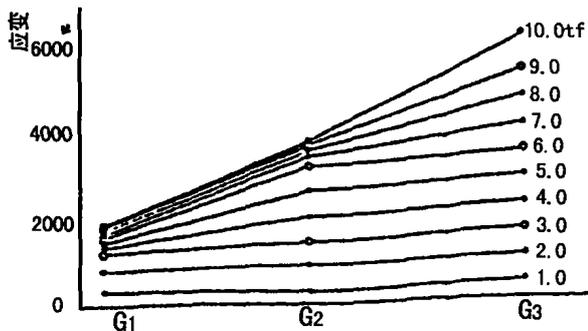


图5 锚索荷载~应变

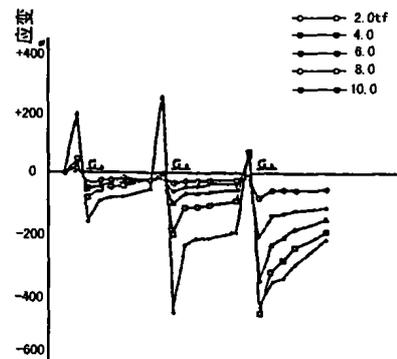


图6 A轴应变计应变曲线

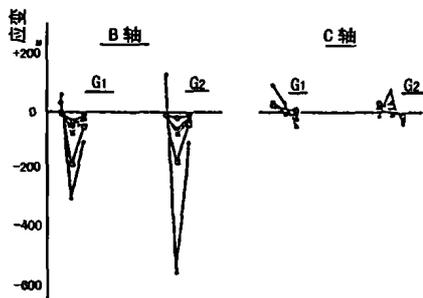


图7 B、C轴应变计应变曲线

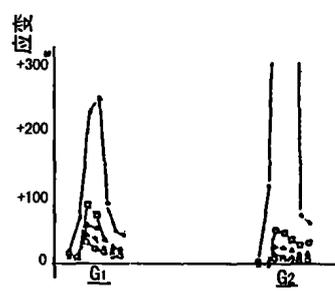


图8 混凝土应变曲线

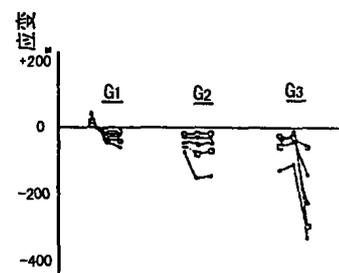


图9 二次应变计应变曲线

小。应变分布宽度集中在10cm左右的狭小范围内，靠近挤压套头部的一侧，应变相对要大。

二次试件应变如图9所示。

由于与A轴应变计平行安装，因而其分布变化情况相似，应变值只有一半左右。

4、结论

本次试验结果，从应变片的动态看，在各挤压套的头部，分布的是压应变，与预计的结果相同。另外，应变片也在垂直于张拉方向产生拉应变，与轴向压应变相比，垂直于张拉方向的拉应变小20-30%。这可认为是混凝土泊松比导致的结果。通过应变计掌握应变分布规律是非常有效的方法和手段。

因此，即便是室内试验用的试件，它与基础试验的报告一起，可以确认和证明，如果能保证各个挤压套头部的移动空间的锚索结构施加预应力，则在各个挤压套之间，张拉力是被分散传递的。

三、基本试验中锚固体应力传递状况

1、前言

为了了解现在使用的地锚(拉力型、压力型)和荷载分散型锚索结构的张拉力及锚固体内的应力传递状况，参考应力传递试验的试验结果，贴好应变片和应变计，在现场做基本试验，对试验

结果报告如下：

本试验是以札幌市内、丰平川扇状地带的砂砾卵石为对象，分别将荷载分散型、拉力型、压力型锚索安装在垂直钻孔中注浆后，进行基本试验。

试验对象各3组，共9组，为便于参考，列举出荷载~锚索、锚固体的应变曲线示例。

2、锚索制作

预应力筋用 $\phi 12.7\text{mm}$ 的PC钢绞线，各种类型都用6根绞线制成锚索，锚索长度为：自由段长 $L_f=6.0\text{m}$ ，锚固段长 $L_a=5.0\text{m}$ ，前端余长0.5m，各类型的详情见图10的锚索加工图所示。

(1)荷载分散型

① 在无粘结PC钢绞线上安装5个特殊随动挤压套，间距为1.0m，用罩子罩好挤压套，并保持移动空间。

② 以最大张拉荷载 $P=70\text{tf}/\text{组}$ 确定移动空间量。

* 移动空间量

$$S_1=0 \text{ mm(固定端)}$$

$$S_2=P \times L/n \times A \times E - S_1=1.19\text{mm}$$

$$S_3=2P \times 2L/n \times A \times E - S_2=3.58\text{mm}$$

$$S_4=3P \times 3L/n \times A \times E - S_3=7.16\text{mm}$$

$$S_5=4P \times 4L/n \times A \times E - S_4=11.94\text{mm}$$

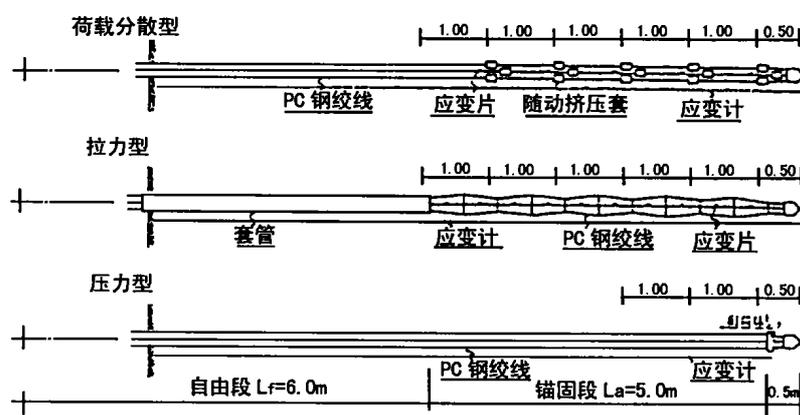


图10 锚索加工图

其中

S: 移动空间量(mm)

n: 挤压套个数(个)

P: 张拉力 (70.0tf)

L: 承载体的间距 (100cm)

A: 预应力筋的截面积 ($0.987\text{cm}^2 \times 6$)

E: 预应力筋的弹性模量 (19800kgf/mm^2)

③ 为了在给 PC 钢绞线加载时, 能了解应力的传递状况, 在挤压套张拉一侧的 PC 钢绞线上贴上应变片。

④ 为了掌握锚固体内张拉应力传递状况, 安上应变计, 考虑到应变计的损坏问题, 装在钢绞线的内侧, 并且相距挤压套有 15cm, 用绑扎带将支承架安装在锚索上。G₄、G₅ 处的应变计的安装受到钻孔直径的限制, 安装时有一点困难。

(2) 拉力型

与荷载分散型一样, 贴好应变片、应变计, 用绑扎带将支承架安装在锚索上, 自由段用无粘接管密封起来。

(3) 压力型

① 前端承载板直径 D=80mm, 厚度 t=25mm。

② 与荷载分散型一样, 贴上应变片, 安装好支承架。

3、锚索施工

(1) 用旋转冲击钻机钻 $\phi 118$ 的孔, 并下套管, 垂直钻 LA=9.5m 的孔。

(2) 用灰浆泵将水泥浆从孔底向上注满钻孔。

(3) 穿入锚索后拔出套管。

(4) 水泥浆的养护要直到抗压强度达到 500kgf/cm^2 以上。

4、试验结果

各种锚索类型测定结果用荷载应变曲线表示。

(1) 荷载分散型

① 荷载~锚索的应变如图 11 所示

给锚索加载, 随着张拉力的增大, 在挤压套处(G), 应变按比例传递, 另外, 因在挤压套之间也按一定比例变化, 因此张拉力在各挤压套之间基本上被均等分散。

② 荷载~锚固体应变如图 12 所示

在各个挤压套之间, 荷载~锚固体的应变也不同。以挤压套为中心, 较深部一侧产生拉应变, 头部一侧产生压应变。随着张拉力的增加, 应变量也增大, 荷载分配时, 锚固体内的应变量趋于更大的倾向, 各挤压套部位连成锚固体。

(2) 拉力型

荷载~锚固体的应变(图 13)

如果张拉力增大, 张拉一侧的应变量也增大, 形成越靠近端部越小的抛物线形, 相对于所施加的张拉力, 距自由段和锚固段的分界面 1m 的区间, 应变量大约占 80%, 距该分界面 3m 的区间, 应变量大约达到 100%, 如图 14 荷载~锚索应变曲线所示。

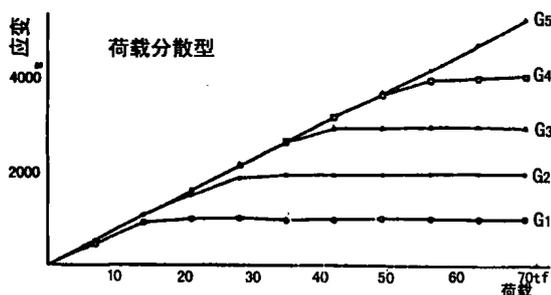


图 11 荷载~锚索应变曲线

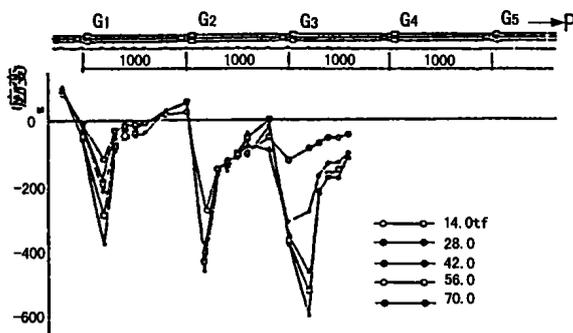


图 12 锚索体荷载~锚固体应变曲线

如果增大张拉力 P ,拉应变和压应变基本同时按比例增加。

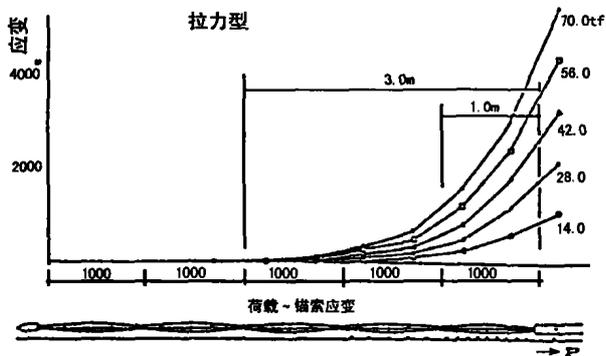


图 13 荷载-锚索应变曲线

在最大张拉力($P=70\text{tf}$)时,距自由段和锚固段分界面 60cm 范围内,从拉应变转化成压应变。这是由于锚固段产生裂纹,并向深处发展的结果。

在自由段和锚固段分界面,随着张拉力增大,拉应变和压应变都增大,这种现象是在锚固段的拉应变自前一侧不断积累,在分界面达到最大,力传给自由段,出现压应变。

(3)压力型

三个试件,分别在张拉力 $P=36.0$ 、 $P=38.0$ 、 $P=48.0\text{tf}$ 时破坏,如荷载~锚固体应变,见图 15。与张拉力相对应的应变呈压应变,不同的试

件破坏荷载也不同。

5、结论

现就各种类型锚固,其锚固体内的应力传递状况、张拉力传递状况进行总结。

(1)荷载分散型

本试验证明,随着张拉力的增加,荷载从最末端向张拉侧依次传递给多个挤压套和承载板,致使它们产生相对位移,最终达到荷载分散的目的。通过这次试验可以看出,荷载分散型比拉力型、压力型应变最小,没有出现应力集中现象,从而确认这种类型安全性和可靠性更高。

(2)拉力型

张拉力在锚固体中约 3m 的范围内传递,同时,在锚固体内的拉应变也大约在 3m 的范围内传递。靠近自由段和锚固段分界面的附近,拉应变积累,显示出压应变。

(3)压力型

接近前端承载板的位置,压应变较大,向张拉端方向逐步减小,极限承载力也逐渐变小,靠近前端承载板位置,产生应力集中,锚固体被破坏。

荷载分散型是将张拉力分散,传递给锚固体,因此不产生应力集中,安全性增大,可靠性高,可

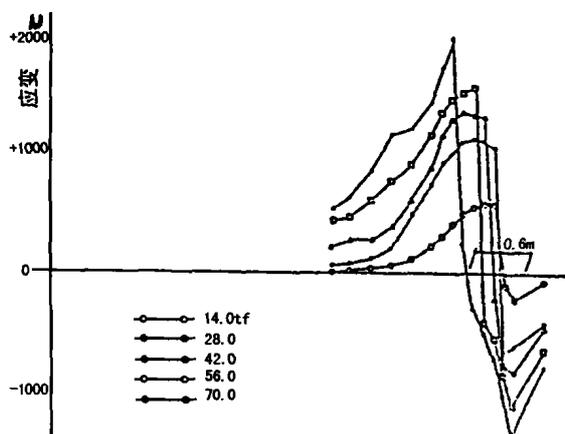


图 14 荷载-锚固体应变曲线

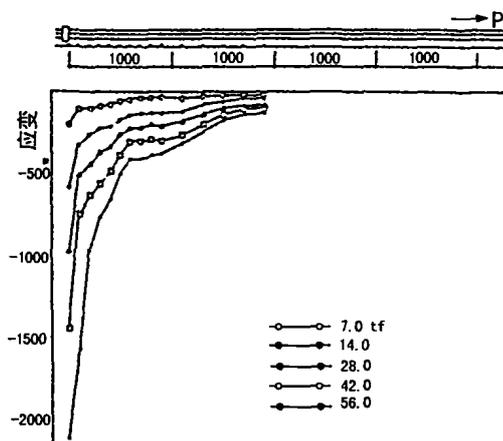


图 15 荷载-锚固体应变曲线

作为理想的锚固体而大量被采用。

以期待得到更安全、可靠性高的锚固方法的问世。

以上所证实的结果看，张拉力的传递和锚固体内应力分布正如图 16 应力传递、应力分布模拟图所示，充分发挥了荷载分散的有利性。我们可

(未完待续)

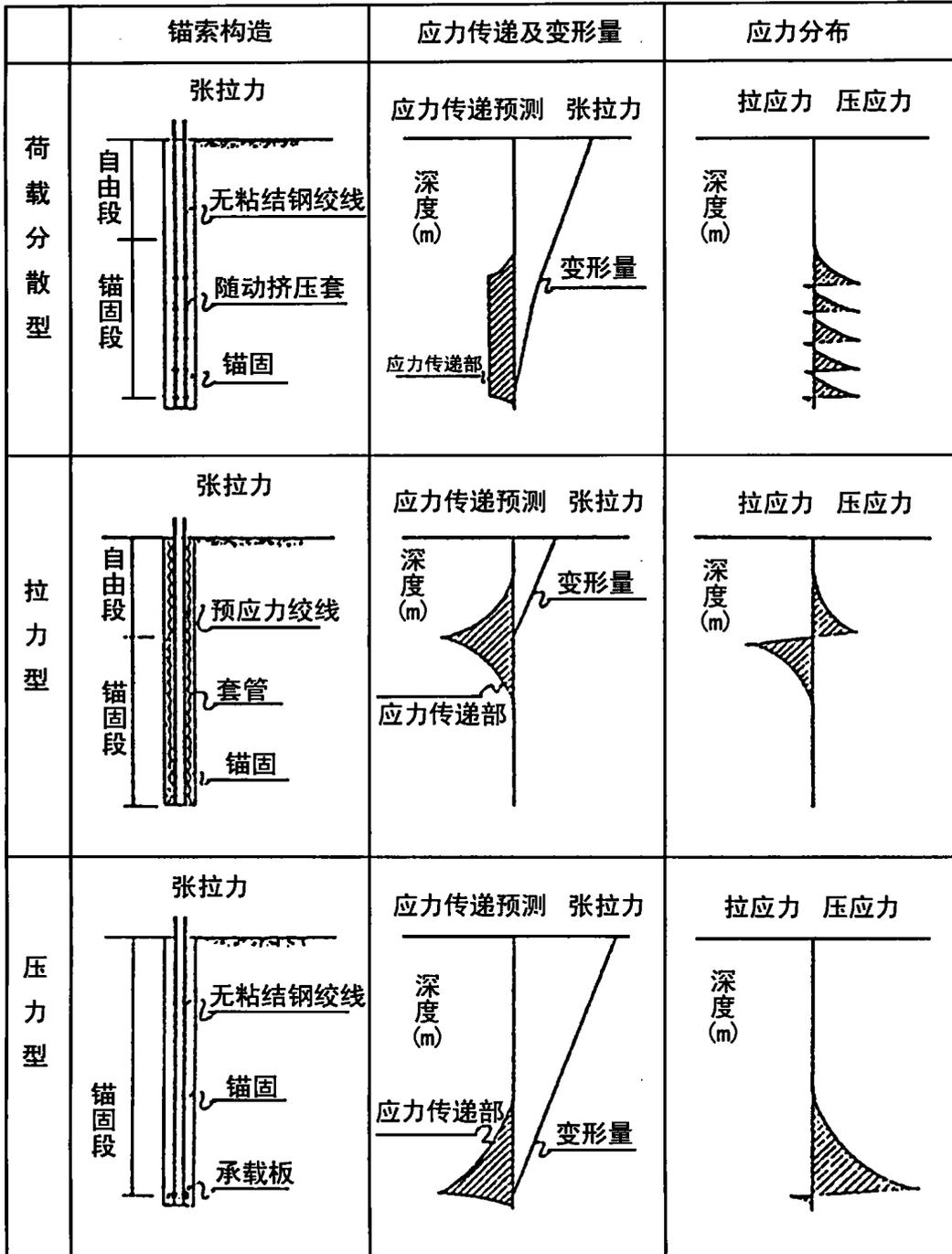


图 16 应力传递、应力分布模拟图