

预制拼装混凝土箱涵止水材料性能试验研究

张晴晴¹, 刘朵^{1,2}, 赵徐祥³, 张建东^{2,4}

(1.河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210098; 2.苏交科集团股份有限公司;
3.南通市海启高速公路建设指挥部; 4.南京工业大学 土木工程学院)

摘要:止水条作为预制拼装混凝土箱涵最重要的一道防水线,其材料性能直接影响箱涵的防水效果。该文针对国内外预制拼装混凝土箱涵常用的4种止水材料,开展了压力—压缩试验、水密性试验及吸水膨胀试验,对比分析止水材料的防水性能。

关键词: 预制拼装; 箱涵; 止水条; 试验; 防水性能

1 引言

涵洞是公路工程的重要组成部分,在工程数量上,占桥涵总数的60%~70%,平原地区,每公里有1~3座,山岭重丘区,每公里平均有3~5座;在工程造价上,约占桥涵总额40%。中国涵洞工程逐渐推广工业化建设,它具有节能环保的特点并逐渐取代与现场施工为主的传统生产方式。预制拼装混凝土涵洞最早于1944年由苏联学者提出,随后在法国、美国、日本等国家也有研究和应用。随着中国工程建设领域的需求和规模的扩大,预制拼装涵洞在中国得到快速的发展,目前在湖南、安徽的几条高速公路上均有很好的应用。由于涵洞处于地下环境并受地下水侵蚀,接缝处防水问题一直是有待解决的关键问题。目前,现浇整体式箱涵普遍采用埋入带钢边缘橡胶止水带的方法解决结构变形缝的防水问题。预制拼装混凝土箱涵采用柔性连接的接头形式,主要为橡胶密封圈密封+双组份密封膏,密封圈的种类主要有三元乙丙楔形胶圈、腻子复合条、遇水膨胀弹性复合中空胶条以及弹性中空胶条等。

预制拼装箱涵包括节段之间的横向接缝和上下涵片之间的纵向接缝,是防水的薄弱环节,也是预制装配式箱涵设计面临的关键技术问题之一。目前箱涵节段之间常采用承插式连接构造,在连接面设置止水条作为主要的防水构造设计方案(图1),因此研究止水条的防水性能对于保证预制装配式箱涵的安全运营和耐

久性具有重要意义。该文针对国内外预制拼装混凝土箱涵常用的4种止水材料,开展压力—压缩试验、水密性试验及吸水膨胀试验,对比分析止水材料的防水性能,为预制拼装混凝土箱涵的防水设计提供参考。

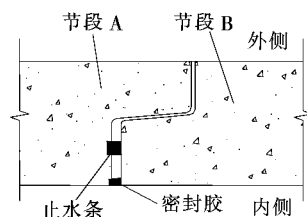


图1 箱涵接头防水构造

2 试验目的、内容与方法

2.1 试验目的

(1) 压力—压缩试验:通过测试止水条的压力—压缩变形量之间的关系,研究止水条的力学性能。

(2) 水密性试验:通过测试不同压缩量与止水压力之间的关系,研究止水条的防水性能。

(3) 吸水膨胀试验:通过测试吸水膨胀率随时间的变化曲线,研究止水条吸水膨胀规律。

针对国内外常用的4种止水条开展的试验研究,分析止水条的技术指标和防水性能,为预制装配式箱涵止水材料的选用和安装施工提供理论依据。

2.2 试验内容

试验所用的4种止水条如图2所示,其技术指标性能如表1所示,分别开展压力—压缩试验、水密性试

收稿日期:2018-05-10

基金项目:江苏省交通运输科技与成果转化项目(编号:2016Y08)

作者简介:张晴晴,女,硕士.E-mail:18352864506@163.com

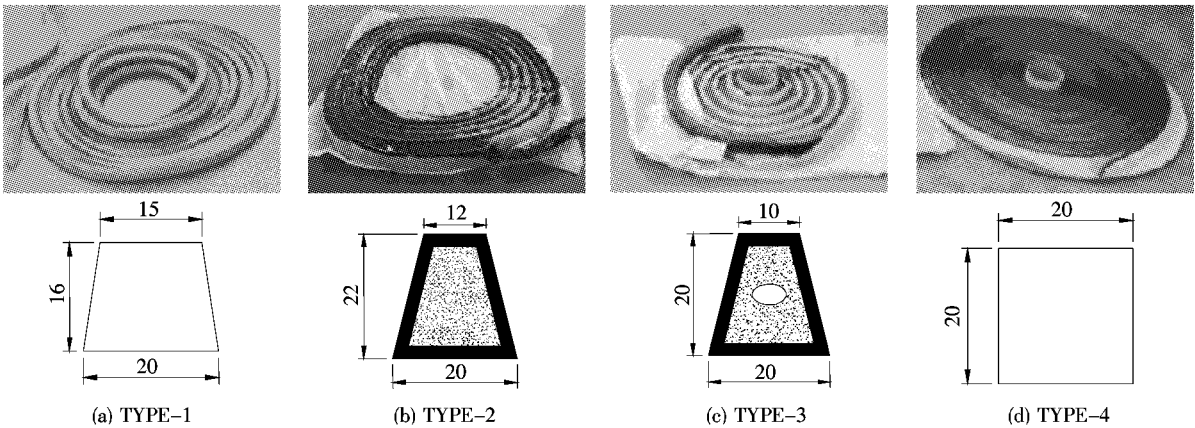


图 2 4 种止水条及截面形式(单位:cm)

表 1 止水条性能指标

| 种类 | 硬度/ 度 | 拉伸强度/ MPa | 扯断伸 长率/% | 体积膨胀 倍率/% |
|--------|----------|--------------|-------------|--------------|
| TYPE-1 | 42±7 | ≥3.50 | ≥450 | ≥150 |
| TYPE-2 | 腻子 | ≥0.01 | ≥800 | — |
| | 发泡胶 | ≥0.50 | ≥200 | — |
| TYPE-3 | 腻子 | 0.18 | 1 900 | — |
| | 发泡胶 | 0.92 | 260 | — |
| TYPE-4 | 50±5 | ≥2.50 | ≥500 | ≥300 |

注:① TYPE-1:遇水膨胀止水条(中国产);② TYPE-2:腻子及发泡复合橡胶条(中国产);③ TYPE-3:密封胶带 SP-Ⅱ(日本产);④ TYPE-4:高性能吸水膨胀止水条(日本产);⑤ “—”表示吸水无膨胀;⑥ 体积膨胀倍率为试样在蒸馏水中静态浸泡至规定时间后体积与浸泡前体积的比率。

验以及吸水膨胀试验。

2.3 试验方法

(1) 压力—压缩试验

止水条压力—压缩试验装置如图 3 所示。试验时,分别将止水条弯曲形成密闭框,放置于钢制模具上,沿着止水条一周均匀布设 6 个位移计,采用小吨位千斤顶对止水条施加垂直压力,并用位移计测量压缩变形量。当压缩率 γ 分别为 10%、20%、30%、40%、50%、60%时,利用压力传感器记录千斤顶的压力,利

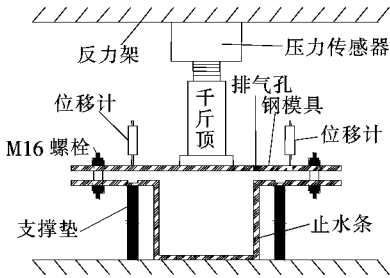


图 3 压力—压缩试验装置

用压缩面积,求出相应的压缩应力,从而得到止水条所承受的压应力与压缩变形量之间的关系,分别测试 4 种止水条的力学性能。

(2) 水密性试验

止水条水密性试验步骤如下:① 分别将 4 种密闭成框的止水条放入模具中,先将止水条压缩至一定值(此值大于估计的最小水密性压缩量),然后加水压至 0.05 MPa,恒压 30 min,若无渗水现象,将压缩量减小 0.5 mm,保持水压 0.05 MPa,若无渗漏,继续减小压缩量,直至产生漏水为止。出现漏水前的止水条压缩量即为最小水密性压缩量;② 依次以 0.1、0.15、0.2、0.25、0.3 MPa 为水压控制值,重复步骤①进行试验,分别测试 4 种止水条的止水压力与压缩量之间的关系。水密性试验装置如图 4 所示。

(3) 吸水膨胀试验

分别对 4 种长 5 cm 的止水条进行遇水膨胀性能测试。将止水条放入恒温[(21±2)℃]的水中,测试 1、2、3 d,···的体积膨胀率,直至体积无明显变化为止,

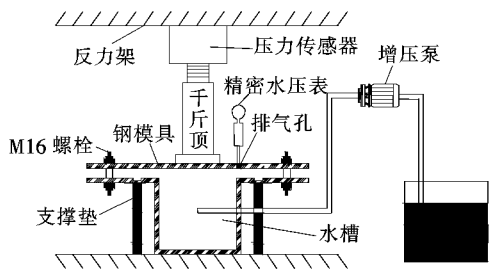


图 4 水密性试验装置

计算吸水膨胀率与浸水时间的关系。

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

(1) 压力-压缩试验

就实际工程而言,止水条安装在箱涵节段承插口位置的凹槽处,形成密闭框且具有侧向约束作用。试验考虑实际工程的约束条件,钢制模具上的槽口尺寸与实际箱涵工程一致,因此所得试验结果更具有参考价值。当止水压力为0.3 MPa时,4种止水条压应力

与压缩变形量之间的试验结果如图 5 所示。

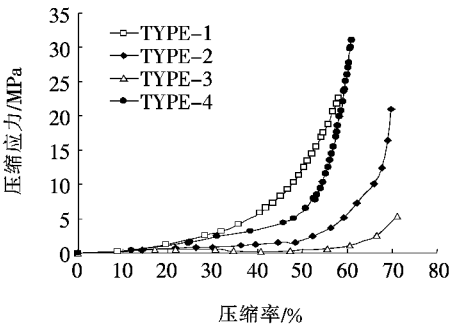


图 5 压力-压缩试验

从图 5 可以看出:① 当止水压力为0.3 MPa时,TYPE-1 止水条的压缩率 θ 为 20%、TYPE-4 止水条的压缩率 θ 为 46%时,对应的压应力分别为1.23、4.40 MPa;② TYPE-2、TYPE-3 止水条相对较柔极易变形,在较小的压力下压缩率 θ 即达到 70%左右,随后压缩量几乎不再变化,变形增长较缓。

(2) 水密性试验

分别针对 4 种止水条开展水密性能试验,试验结果如表 2 所示。

表 2 止水条水密性试验结果

| TYPE-1 | | TYPE-2 | | TYPE-3 | | TYPE-4 | |
|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| 压缩率 θ /% | 水压 P /MPa | 压缩率 θ /% | 水压 P /MPa | 压缩率 θ /% | 水压 P /MPa | 压缩率 θ /% | 水压 P /MPa |
| 12 | 0.05 | 35 | 0.04 | 46 | 0.05 | 42 | 0.05 |
| 15 | 0.10 | 50 | 0.10 | 47 | 0.07 | 44 | 0.10 |
| 15 | 0.15 | 60 | 0.18 | 55 | 0.11 | 45 | 0.15 |
| 16 | 0.20 | 70 | 0.22 | 60 | 0.16 | 45 | 0.20 |
| 17 | 0.25 | — | — | 70 | 0.30 | 46 | 0.25 |
| 20 | 0.30 | — | — | — | — | 46 | 0.30 |

从表 2 可以看出:① 在试验过程中,止水条垂直受压的情况下,渗漏水主要发生在止水条的连接处,主要是因为止水条的连接处为整个密闭框结构中最薄弱的环节。② TYPE-2 压缩率 θ 增加至 70%时,止水压力为0.22 MPa;TYPE-3 压缩率 θ 增加至 70%时,达到了0.3 MPa 的止水压力;TYPE-1 压缩率 θ 增加至约 20%时,止水压力为0.30 MPa;TYPE-4 压缩率 θ 增加至约 46%时,止水压力为0.30 MPa。③ 在试验过程中,存在如下试验现象:TYPE-2 止水条胶黏性极强,安装拆卸时较难操作;TYPE-3 止水条较柔,当水压高于止水压力时,止水条内部容易发生爆裂;TYPE-1 与 TYPE-4 止水条具有一定的硬度,且弹性较好,但当水压高于止水压力时,会在止水条连接处渗水。

(3) 吸水膨胀率试验

通过近 1 个月的试验测试与分析,止水条的吸水膨胀结果如图 6 所示。

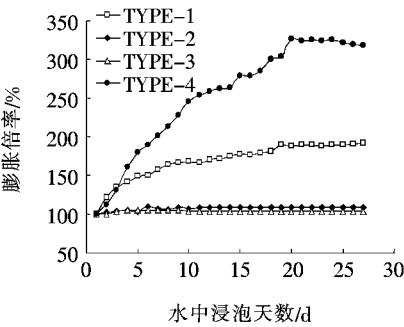


图 6 吸水膨胀率曲线

由图 6 可以看出:① 止水条吸水膨胀后可以填充部分孔隙,直接影响了涵洞接缝处的防水效果;② TYPE-2 和 TYPE-3 在整个浸水过程中几乎不膨胀,TYPE-1 在整个浸水过程中前期膨胀较快,后期膨胀逐渐缓慢,最终膨胀率倍约为 200%。TYPE-4 在整个浸水过程中膨胀速率逐渐减小,最终膨胀倍率约为 350%。

3.2 试验结果分析

从止水条防水性能试验结果可以看出:

(1) 箱涵节段在预制过程中,连接界面将不可避免地出现一些制作误差,接缝无法实现完全贴合。因此,具有膨胀性的止水条能够继续吸水膨胀,填充无法贴合的空间,以便具有更好的防水效果。同时,止水条吸水膨胀会增大接触应力,可抵消由于预制构件拼装时松弛引发的接触应力降低,从而达到较好的防水效果。TYPE-2 与 TYPE-3 止水条没有吸水膨胀性,当 TYPE-2 压缩率 θ 为 70% 时,止水压力为 0.22 MPa;TYPE-3 压缩率 θ 为 70% 时,止水压力为 0.30 MPa,且水压高于止水压力时易发生破裂。因此,两种止水条比较适用于地下水压较低的地质条件,且应达到较大的压缩率。

(2) 当设计止水压力为 0.3 MPa 时,TYPE-1 压缩率 θ 为 20%、TYPE-4 压缩率 θ 为 46%,对应的压应力分别为 1.23、4.40 MPa。止水条应满足 GB 50 838-2 015《城市综合管廊工程技术规范》第 8.5.7 条的规定:拼缝防水应采用预制成型弹性密封垫为主要防水措施,弹性密封垫的界面应力不应低于 1.5 MPa。因此,止水条的止水应力应满足实际工程需求,同时界面应力满足规范的要求。

(3) 根据某一水深条件下接缝水密性所需的最小压缩量,可进行连接界面预留凹槽深度的优化。该试验所用的模具预留沟槽深度为 5 mm,TYPE-4 止水条厚度为 20 mm,当止水压力为 0.30 MPa 时,TYPE-4 所需最小压缩率 θ 为 46%,即压缩量为 6.9 mm,因此模具的上下表面未完全闭合,这将加速地下复杂环境对止水条的侵蚀并降低接头防水性能。所以应基于试验结果对防水构造进行优化。可取预留沟槽深度为 13.1 mm,以实现模具的上下表面完全闭合。

4 结论

通过对国内外 4 种常用的止水条进行防水性能试

验,得出如下结论:

(1) 腻子及发泡复合橡胶条(TYPE-2)与日本密封胶带 SP-II(TYPE-3)止水条适用于地下水位较低或无地下水情况,且压缩率需达到 70% 以上。

(2) 高性能吸水膨胀止水条(TYPE-4)在止水压力为 0.30 MPa 时,对应的止水条界面应力满足了规范要求;遇水膨胀止水条(TYPE-1)需增大压应力同时满足实际工程的止水压力和相关规范要求。

(3) 遇水膨胀止水条(TYPE-1)与高性能吸水膨胀止水条(TYPE-4)具有吸水膨胀性会使装配式箱涵拼装接缝处有更好的防水效果。

(4) 根据试验结果可对预制箱涵拼装连接面止水条预留槽口深度进行优化。如 TYPE-4 止水条同时满足设计水压为 0.30 MPa 以及界面应力不小于 1.5 MPa 的条件下,止水条所需最小压缩率为 46%,即压缩量为 6.9 mm,为达到预制拼装箱涵接头完全闭合,止水条预留沟槽深度可设计为 13.1 mm。

针对具体工程的实际地下水位情况,可通过水密性试验确定止水条在满足水压要求下的压缩量,可通过压力-压缩试验确定止水条界面应力,界面应力需满足实际工程地下水压情况和规范要求。吸水膨胀率试验可验证止水条吸水膨胀性指标是否与厂家提供的一致。

参考文献:

- [1] 王伟广.沿海地区高速公路涵洞病害成因及防治对策[J].黑龙江交通科技,2011(6).
- [2] 李永刚.沟埋式和上埋式涵洞土压力统一计算理论研究[D].太原理工大学博士学位论文,2009.
- [3] 胡翔,薛伟辰,王恒栋.上海世博园区预制预应力综合管廊接头防水性能试验研究[J].特种结构,2009(1).
- [4] 严林.预制拼装综合管廊发展现状及接头防水密封性能的探讨[J].混凝土与水泥制品,2017(1).
- [5] 孔祥臣.预制拼装综合管廊接头防水性能研究[J].中国建设信息,2012(11).
- [6] 陆明.大型排污沉管隧道管段接头防水研究[D].同济大学硕士学位论文,2004.
- [7] 樊庆功,方卫民,苏许斌.盾构隧道遇水膨胀橡胶密封垫止水性能试验研究[J].地下空间,2002(4).
- [8] 吴全立,方卫民.隧道工程环向施工缝张开度与止水条抗水压力关系的试验研究[J].中国建筑防水,2003(11).
- [9] 陆明,朱祖熹.遇水膨胀类止水材料在地下工程中的应用[J].现代隧道技术,2002(4).
- [10] GB 50838-2015 城市综合管廊工程技术规范[S].