ICS 93.140
CCS P67

团　　体　　标　　准

T/CIN 071—2025

内河航道工程 3D 打印混凝土护岸设施质量检验规范

Quality Inspection Standard for 3D-Printed Concrete Revetment Facilities in Inland Waterway Engineering

2025-04-30 发布　　2025-07-30 实施

中国航海学会　　发 布

目　　次

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：江苏东交智控科技集团股份有限公司、苏州市港航事业发展中心、交通运输部科学研究院、苏州市水运工程建设指挥部、江苏省港口集团有限公司、江苏港航投资发展有限公司、南京洛普股份有限公司、南京嘉翼精密机器制造股份有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司。

本文件主要起草人：王捷、万文智、陈景、朱国娟、谢长进、刘伟、徐龙辉、王斐、李进、吴敬崇、王力扬、罗旭、王淮、田树海、李巧生、杨娱琦、宋亚洲、赵倩梅、高珺娴、谢媛、姜新威、赵越、杨一帆、李华、马凌、毛益佳、蔡永清、仲明、王晶、王凯。

内河航道工程 3D 打印混凝土护岸设施质量检验规范

1 范围

本文件规定了内河航道工程3D打印混凝土护岸设施质量检验的基本要求以及质量控制、质量检测、检验验收、检验合格标准等要求。

本文件适用于内河航道工程3D打印混凝土护岸设施的质量检验，其他3D打印的航道工程质量检验可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

GB 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋

GB/T 2419 水泥胶砂流动度测定方法

GB/T 13014 钢筋混凝土用余热处理钢筋

GB/T 14684 建设用砂

GB/T 14685 建设用卵石、碎石

GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土的粒化高炉矿渣粉

GB/T 20491 用于水泥和混凝土中的钢渣粉

GB/T 21120 水泥混凝土和砂浆用合成纤维

GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰

GB/T 35351 增材制造 术语

GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准

GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范

GB 55008 混凝土结构通用规范

JGJ 18 钢筋焊接及验收规程

JGJ 63 混凝土用水标准

JGJ/T 70 建筑砂浆基本性能试验方法标准

JTS 154 防波堤与护岸设计规范

JTS 202 水运工程混凝土施工规范

JTS 208 防波堤与护岸施工规范

JTS 257 水运工程质量检验标准

3 术语和定义

GB/T 35351界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

3D 打印混凝土 3D printing concrete

以水泥为主要胶凝材料，玻璃纤维、玄武岩纤维、聚乙烯纤维等为主要增强材料，通过添加粗、细骨料和外加剂制成可用于3D打印的混凝土。

[来源：T/JSCTS 7—2022，3.1]

3.2

护岸设施 Revetment facilities

主要防御波浪和水流对岸坡和陆域的侵袭，保障陆域人员和基础设施安全的水工建筑物。

[来源：JTS 154—2018，2.0.2]

3.3

层间黏结强度 Interlayer Bond Strength

3D打印混凝土相邻层之间的黏结能力。

[来源：TCRCS 786—2020，2.0.13]

3.4

抗压强度折减率 Compressive Strength Reduction Rate

3D打印混凝土的抗压强度相较于传统浇筑混凝土的降低比例。

[来源：TCRCS 786—2020，A.0.2]

3.5

主要检验项目 Major inspection items

分项工程中对安全、卫生、环境保护和公众利益起决定性作用的检验项目。

[来源：JTS 257—2008，1.2.0.15]

3.6

一般检验项目 General inspection items

主要检验项目以外的检验项目。

[来源：JTS 257—2008，1.2.0.16]

4 基本要求

4.1 3D 打印护岸工程的工程划分应符合 JTS 257 的有关规定。

4.2 与 3D 打印护岸工程相关的其他分项工程应按 JTS 257 的有关规定进行质量检验

4.3 施工单位应对工程采用的构件进行现场验收，并经监理工程师认可。检验应符合 JTS 257 的要求

4.4 3D 打印构件的质量检验应在构件质量和环保证明文件等相应质保材料齐全的基础上进行。

4.5 3D 打印护岸设施质量应符合工程合同和设计文件的要求。

4.6 承担见证抽样检验及有关结构安全检验的单位应具有相应资质和能力等级。

5 质量控制

5.1 一般要求

5.1.1 3D 打印护岸设施各施工工序之间应进行交接检验并经监理工程师认可，未经检验或检验不合格不应进行下道工序施工。

5.1.2 施工工序宜按 JTS 208 的有关规定进行。

5.1.3 施工单位应进行抽样检验，监理单位见证施工单位抽样检验并进行平行检验，出具质量证明文件和复验报告。

5.1.4 3D 打印护岸设施的验收批宜按座或合同标段划分，每段长度宜为 200m～500m，对于长度小于 200m 的护岸工程，可按实际长度划分检验批。打印构件的长度应根据设计要求、运输条件和现场吊装能力综合确定。

5.2 原材料质量控制

5.2.1 配制 3D 打印混凝土宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，质量应符合 JTJ 202 的规定。

5.2.2 粗骨料的含泥量和泥块含量应符合表 1 的规定，其他性能及试验方法应符合 GB/T 14685 的有关规定。可采用再生粗骨料取代部分天然粗骨料（取代率≤30%），使用前应分批检验，各项性能与天然材料相同。

表1 粗骨料含泥量和泥块含量

项目	含泥量	泥块含量
指标（%）	≤1	≤0.5

5.2.3 天然砂的含泥量、泥块含量应符合表 2 规定；人工砂的石粉含量应符合表 3 规定。细骨料的其他性能及试验方法应符合 GB/T 14684 有关规定。可采用再生细骨料取代部分天然细骨料（取代率≤50%），使用前应分批检验，各项性能与天然材料相同。

表2 天然砂含泥量和泥块含量

项目	含泥量	泥块含量
指标（%）	≤3.0	≤1.0

表3 机制砂石粉含量

项目	亚甲蓝值（MB）	石粉含量
石粉含量（%）	MB≤1.4	≤10.0
	MB≥1.4	≤3.0

5.2.4 采用的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉和硅灰等矿物掺合料应符合 GB/T 1596、GB/T 18046、GB/T 27690、GB/T 20491、GB/T 51003 有关规定。

5.2.5 外加剂应符合 GB 8076 有关规定，植入钢筋的 3D 打印混凝土构件不应掺用含氯盐的外加剂。

5.2.6 纤维性能应符合 GB/T 21120 有关规定。

5.2.7 拌合水和养护用水应符合 JGJ 63 有关规定。施工单位对地表水每 6 个月检验一次、地下水每年检验一次、再生水每 3 个月检验一次。

5.2.8 混凝土 3D 打印建筑用钢筋应符合 GB/T 1499.2 和 GB 13014 有关规定。

5.2.9 钢筋焊接应符合 JGJ 18 有关规定。

5.3 混凝土质量控制

5.3.1 3D 打印混凝土拌合物在泵送前和泵送后均不应离析和泌水，凝结时间应满足可打印时间的要求。新拌 3D 打印混凝土的流动性、可挤出性、支撑性和凝结时间性能宜符合表 4 规定。施工单位、监理单位在打印点按验收批全数检查。同一工程、同一配合比、采用同一批次水泥和外加剂的 3D 打印混凝土凝结时间应至少检验 1 次，出具检验报告。

表4　新拌 3D 打印混凝土要求及检验方法

项目		技术要求		检验方法
		骨料最大粒径（mm）		
		≤5	5~16	
流动性	流动度（mm）	160~220	-	GB/T 2419
	坍落度（mm）	-	80~150	GB/T 50080
凝结时间（min）		≤90		JGJ/T 70
可挤出性		挤出速率应控制在0.5 m/s~1.0 m/s，且无断流或堵塞现象		观测
支撑性		挤出形状保持稳定不倒塌		观测

5.3.2　3D 打印混凝土的力学性能应符合设计要求，检验应符合 GB/T 50081 有关规定。硬化 3D 打印混凝土的抗压强度折减率、层间劈裂强度、层间黏结强度、冻融循环抗压强度损失率等性能宜符合表 5 的规定。施工单位、监理单位按验收批全数检查，出具检验报告和统计评定表。

表5　硬化 3D 打印混凝土力学性能技术要求及检验方法

项目	技术要求		检测方法
打印成型抗压强度	满足设计要求		按附录B进行
打印强度折减率（%）	≤20		
层间劈裂强度（MPa）	C20	0.8	按附录C进行
	C30	1.0	
	C40	1.5	
	C50	2.5	
	C60	3.5	
层间黏结强度（MPa）	≥1.5		按附录D进行
冻融循环抗压强度损失率（%）	≤15		JTS 202

5.3.3　硬化 3D 打印混凝土长期性能和耐久性能除应满足工程设计、施工和应用环境要求，总氯离子含量、碱含量、抗冻性能、抗水渗透性能、抗氯离子渗透性能、耐硫酸盐侵蚀性能应符合 JTJ 202 有关规定。施工单位、监理单位按验收批全数检查，出具试验报告或评估报告。

6　质量检验

6.1　一般要求

6.1.1　3D 打印护岸设施的工程划分应符合 JTS 257 有关规定。

6.1.2　与 3D 打印护岸设施相关的其他分项工程应按 JTS 257 有关规定进行质量检验。

6.1.3　3D 打印护岸设施的检验批宜按座或合同标段划分，每段长度宜为 200m～500m，对于长度小于 200m 的护岸工程，可按实际长度划分检验批。检验批应不大于验收批。

6.1.4　检验批质量合格应符合下列规定：

a)　检验批质量应对主要检查项目和一般项目进行检查，其中主要检查项目包含混凝土抗压强度等，一般检查项目包括外观、尺寸等。

b)　主要检验项目质量全部合格。

c)　一般检验项目质量全部合格。其中允许偏差的抽查合格率达到 85%及其以上，且不合格点的最大偏差值对于影响结构安全和使用功能的不应大于允许偏差值的 1.5 倍。

6.1.5　分项工程质量合格应符合下列规定：

a)　分项工程所含检验批符合质量合格规定。

b)　分项工程所含检验批的质量检验记录完整。

6.1.6　当分项工程及检验批的质量不符合要求时，应按下列规定进行处理：

a)　返工重建或更换构件并重新进行检验。

b)　检测单位检测鉴定达到设计要求可认定为质量合格；经检测鉴定未达到设计要求，但经原设计单位核算确认满足结构安全和使用功能可认定为质量合格。

6.1.7　检验批和分项工程的质量检验记录应按附录 A 执行。

6.2 主要检验项目

6.2.1 3D 打印护岸设施规格、质量应满足设计要求，并应符合 JTS 257 有关规定。

6.2.2 施工单位、监理单位按进场批次全数检查，检查质量证明文件并观察检查。

6.2.3 3D 打印护岸设施运输及起吊的临时固定保护措施应符合设计和施工方案要求。施工单位、监理单位全数观察检查。

6.2.4 3D 打印护岸设施表面不应有严重缺陷。3D 打印护岸设施表面缺陷程度应按表 6 分级，并由施工单位和监理单位现场共同确定。

6.2.5 3D 打印护岸设施缺陷处理应符合 JTS 257 要求。

表6 3D 打印护岸设施表面缺陷程度分级

名称	现象	严重缺陷	一般缺陷
裂缝	由表面延伸至构件内部的缝隙	长度＞100 mm，宽度＞0.25 mm/每块，板的横向、纵向贯通裂缝	长度＜100 mm，宽度≤0.25 mm/每块，每块有2处及以下
露筋	钢筋网未被混凝土包裹而外露	受力钢筋有露筋	其他钢筋局部少量露筋每块≤1处
缺棱掉角	构件边角缺少或破损	每6 m² 中有3处及以上，或单个破损面积＞30 mm×30 mm	每6 m² 有2处及以下，或单个破损面积≤10 mm×30 mm
夹渣	挤塑不均匀导致混凝土中有明显空隙	有夹渣，深度超过保护层厚度	有少量夹渣，深度未超过保护层厚度
打印图案缺陷	整体图案或标识模糊不清，细部打印纹理不均匀，存在明显缺陷等	每6 m² 中有3处及以上	每6 m² 有2处及以下
气孔		表面出现直径大于5 mm且深度超过3 mm的气孔，每平方米超过5个	直径小于等于5 mm且深度小于等于3 mm的气孔，每平方米超过10个
麻面		表面麻面面积占所在构件面积的10%以上	表面麻面面积占所在构件面积的5%-10%

6.2.6 构件安装搁置面应平整，表面无疏松层。施工单位、监理单位进行全数测量检查并记录。

6.2.7 构件安装完毕应及时进行墙后回填，回填土的种类和密度应满足设计要求。施工单位按每 1000 m^3~5000 m^3 进行 1 组抽样检查，且 1 个施工段不少于 1 组，监理单位见证取样并平行检验不少于 1 次，检查检验报告并观察检查。

6.3 一般检验项目

6.3.1 3D 打印护岸设施应标明生产单位、构件型号、生产日期和质量检验标志。施工、监理单位全数观察检查。

6.3.2 构件表面不宜有一般缺陷。对影响耐久性的一般缺陷，应按 JTS 202 的有关规定处理。施工单位、监理单位全数观察检查并检查处理记录。

6.3.3 构件上的预埋件、预留孔洞和外伸筋的数量、规格和尺寸应满足设计要求，允许偏差应符合 JTS 257 的有关规定。

6.3.4 伸缩缝位置和构造应满足设计要求。施工单位、监理单位全数观察检查并检查施工记录。

6.3.5 3D 打印护岸设施成品的允许偏差、检验数量、检验方法应符合表 7 的规定。

表7 3D 打印护岸设施成品允许偏差、检验数量和方法

序号	项目	允许偏差（mm）	检验数量	单元测点	检验方法
1	长度	±10	逐件检查	4	钢尺测量
2	宽度（顶宽、底宽）	±10		4	钢尺测量
3	底板厚度	±10		2	钢尺测量
4	高度	±10		2	钢尺测量
5	外侧面平整度	10		4	用2 m靠尺和塞尺测量
6	端头倾斜	H/200且≤10		2	用直尺或吊线测量
7	壁厚	-2，+5		4	钢尺测量
注：H为3D打印构件高度，单位为毫米（mm）。					

6.3.6 3D 打印护岸设施安装的质量检验应在安装 24 h 后进行，其允许偏差、检验数量和方法应符合

表 8 的规定。

表8　3D 打印护岸设施安装允许偏差、检验数量和方法

序号	项目		允许偏差（mm）	检验数量	单元测点	检验方法
1	墙顶轴线位置		20	逐件检查	2	用全站仪和钢尺测量纵横两方向
2	标高	顶面	±30		2	用水准仪测量两端
3		搁置面	±20		4	用水准仪测量
4	迎水面竖向倾斜	后倾	H/200		1	用全站仪或吊线钢尺测量
		前倾	0		1	用全站仪或吊线钢尺测量
5	相邻段接缝宽度		10		1	用钢尺测量
6	相邻段邻水面错台		10		1	拉线用钢尺等测量
7	相邻段顶面错台		10		1	用钢尺测量
8	顶面平整度		10		2	用2 m靠尺和塞尺测量
注：接缝宽度是指与设计平均缝宽的偏差值。						

7　检验验收

7.1　工程质量检验应在施工单位自行检验合格的基础上进行。

7.2　分项工程及检验批的质量应由施工单位分项工程技术负责人组织检验，自检合格后报监理单位，监理工程师应及时组织施工单位专职质量检查员等进行检验与确认，并按附录 A 进行记录。

7.3　涉及结构安全的现场检验项目，施工单位应按规定进行检验，监理单位应按规定进行见证抽样检验或平行检验。

7.4　分项工程及检验批的质量应按主要检验项目和一般检验项目分别进行检验。

7.5　工程观感质量应由验收人员进行现场检查并共同确认合格。

7.6　3D 打印混凝土护岸设施验收应符合 GB 50204、GB 50203 有关规定。

7.7　3D 打印混凝土护岸设施的外观质量允许偏差应符合表 9 规定。

表9　外观质量允许偏差

项目	允许偏差（mm）	检验方法
长度	±10	尺量
宽度	±5	尺量
垂直度	H/200且≤10 mm	吊线测量
每层打印厚度	±5	尺量

8　检验合格标准

8.1　质量合格并检验记录完整。

8.2　质量检验不合格时，按下列规定处理后应认定为质量合格：

a)　返工重做或更换构配件、设备，重新进行检验。

b)　检测单位检测鉴定达到设计要求的。

c)　检测鉴定未达到设计要求，经原设计单位核算后满足结构安全和使用功能的。

8.3　返修或加固处理 3D 打印混凝土设施，虽然改变外形尺寸但仍能满足安全使用要求，应按技术处理方案和协商文件进行验收。

8.4　返修或加固处理后仍不能满足安全使用要求的，不应通过验收。

附 录 A

（资料性）

3D 打印护岸工程质量检验记录

A.1 检验批质量检验记录应由分项工程技术负责人填写，监理工程师组织施工单位质量检查员等进行检验与确认，并按表 A.1 的规定记录，检验记录可采用电子签名及二维码追溯技术。

表 A.1 （ ）检验批质量检验记录表

<table>
<tr><td colspan="3">单位工程</td><td colspan="13"></td></tr>
<tr><td colspan="3">分部工程</td><td colspan="13"></td></tr>
<tr><td colspan="3">分项工程</td><td colspan="5"></td><td colspan="3">检验部位</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">施工单位</td><td colspan="5"></td><td colspan="3">项目负责人</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">质量检验标准名称及编号</td><td colspan="13"></td></tr>
<tr><td colspan="4">质量标准规定</td><td colspan="6">施工单位检验记录</td><td colspan="6">监理单位检验记录</td></tr>
<tr><td rowspan="4">主要检验项目</td><td>1</td><td colspan="2"></td><td colspan="6"></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2"></td><td colspan="6"></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2"></td><td colspan="6"></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="6"></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="9">一般检验项目</td><td>1</td><td colspan="2"></td><td colspan="6"></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2"></td><td colspan="6"></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2"></td><td colspan="6"></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="6"></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">允许偏差项目</td><td>允许偏差值（mm）</td><td colspan="6">实测偏差值（mm）</td><td colspan="6">抽查实测值（mm）</td></tr>
<tr><td colspan="2">1</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">2</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">3</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">4</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="14">允许偏差项目共检测 点，合格 点，合格率%</td></tr>
<tr><td colspan="3">施工单位检验结果</td><td colspan="14">分项工程技术负责人： 质量检查员： 年 月 日</td></tr>
<tr><td colspan="3">监理单位检验结论</td><td colspan="14">监理工程师： 年 月 日</td></tr>
</table>

A.2　分项工程质量检验记录应由施工单位分项工程技术负责人填写，监理工程师组织施工单位分项工程技术负责人和质量检查员等进行检验与确认，并按表 A.2 的规定记录，检验记录可采用电子签名及二维码追溯技术。

表 A.2　（　　）分项工程质量检验记录表

<table>
<tr><td>单位工程</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>分部工程</td><td></td><td>检验部位</td><td></td></tr>
<tr><td>施工单位</td><td></td><td>项目负责人</td><td></td></tr>
<tr><td>序号</td><td>检验批部位</td><td>施工单位检验结果</td><td>监理单位验收结果</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">说明：</td></tr>
<tr><td>施工单位
检验结论</td><td colspan="3">分项工程技术负责人：　　年　月　日
质量检查员：　　年　月　日</td></tr>
<tr><td>监理单位
检验结论</td><td colspan="3">监理工程师：　　年　月　日</td></tr>
</table>

附 录 B

（资料性）

3D 打印抗压强度及其折减率测试方法

B.1 标准试件的制备及测试应符合下列规定：

a) 试件配合比与 3D 打印混凝土配合比相同；

b) 试件尺寸为边长 150 mm 的立方体；

c) 试件的成型、养护和测试按 GB/T50081 的有关规定进行。

B.2 标准试件的制备及测试应符合下列规定：

a) 用 3D 打印设备按图 B.1 所示打印成型，且按打印头出料宽度（50±5）mm、单层高度 10 mm 的打印参数，打印成型的试件尺寸在高度和长度方向应分别≥300 mm。打印完成后应在室温下覆膜养护 24 h 后移入标准养护室中养护。

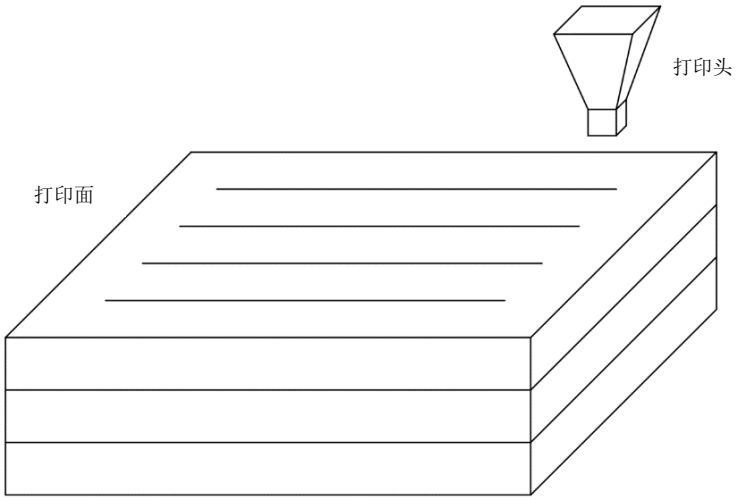


图 B.1 混凝土 3D 打印件

b) 至少养护 7 d 后，除打印试件底面外其余 5 面采取切割、打磨方式，制备成与标准成型试件尺寸相同的立方体试件，完成后在底面做好试件标记；切割试件要求表面平整、测试上下面平行度，尺寸误差≤1 mm，切割过程如有掉角缺损，需用同配比打印材料修补完整，见图 B.2。

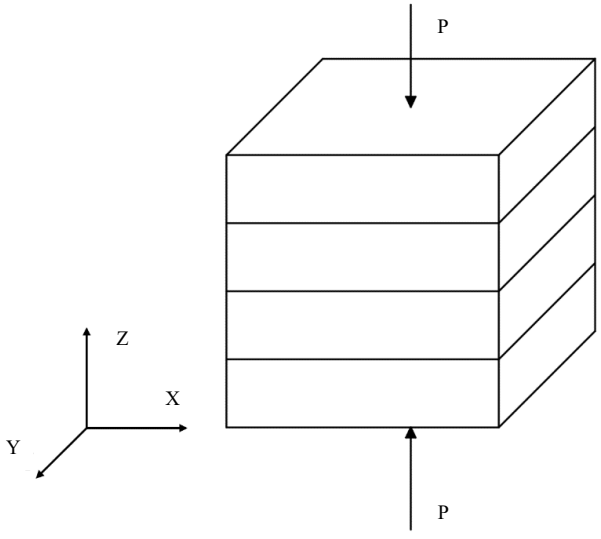


图 B.2 切割后 3D 打印试件

c) 每组至少制备 6 个试件，制备完成的试件放入标准养护室中。

d） 标准养护至 28 d 的打印试件应参照 GB/T 50081 的规定进行测试，测试加载力方向应为打印成型面并垂直于底面。

B.3 抗压强度折减率的计算及确定应按下列方法进行：

a） 抗压强度折减率按公式（B.1）计算：

$$X = \left(1 - \frac{R_{c1}}{R_{c2}}\right) \times 100\% \quad \text{（B.1）}$$

式中：

X——打印强度折减率，单位为百分比%；

R_{c1}——3D 打印试件抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

R_{c2}——标准试件抗压强度，单位为兆帕（MPa）。

b） 强度值R的确定应符合下列规定：

1） 将不少于 6 个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值（精确至 0.1 MPa）；

2） 若测值中的最大值或最小值中有 1 个与算术平均值的差值超过 15%时，则把最大及最小值一并舍除，并用其余试件测值的算术平均值作为该组试件的抗压强度值。

附 录 C

（资料性）

层间劈裂强度测试方法

C.1 试件的制备应符合下列规定：

a) 应采用 3D 打印设备按图 C.1 所示打印成型构件，且按打印头出料宽度（50±5）mm、单层高度 10 mm 的打印层数不少于 6 层的构件，并在室温下覆膜养护 24 h 后再移入标准养护室中养护。

b) 构件养护 7 d、28 d 后，切割截取长度为 50 mm、打印层数为 4 层或 6 层的测试试件。测试试件的劈裂承压面应进行打磨处理，使其劈裂承压面上下表面平行。

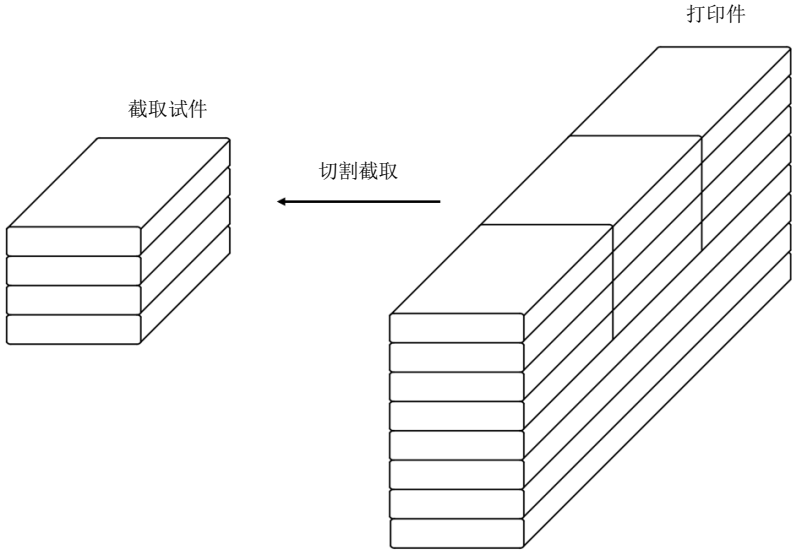


图 C.1 层间劈裂强度测试试件的制备方法

C.2 劈裂强度试验按下列步骤进行：

a) 测试环境相对湿度不宜小于 50%，温度应保持在 20℃±5℃。

b) 将试件表面与上下承压板擦干净。

c) 将试件放在试验机下压板的中心位置，劈裂承压面应与试件成型时的顶面垂直；在上、下压板与试件之间垫以长度 100 mm、直径 18 mm 的光圆钢棒，上、下钢棒的应放置于打印试件侧面中间层间结合轴线上。

d) 开动试验机，当上压板与试件接近时，调整球座，使接触均衡。加荷应连续均匀，当混凝土强度等级＜C30 时，加荷速度取每秒钟 0.02 MPa~0.05 MPa；当混凝土强度等级＞C30 且＜C60 时，取每秒钟 0.05 MPa～0.08 MPa；当混凝土强度等级>C60 时，取每秒钟 0.08 MPa~0.10 MPa，至试件接近破坏时，应停止调整试验机油门，直至试件破坏，然后记录破坏荷载（图 C-2）。

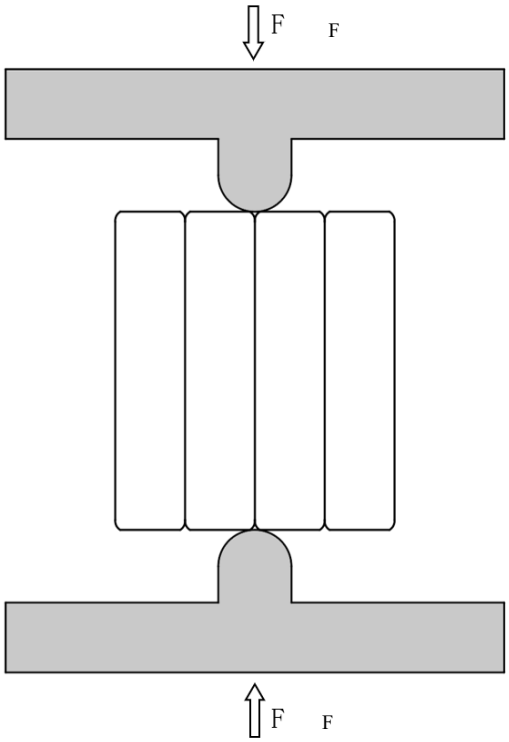


图 C.2　层间劈裂强度测试方法图

C.3　混凝土劈裂强度试验结果计算及确定

a)　混凝土劈裂强度应按公式（C.1）计算：

$$f_{ts}=\frac{2F}{\pi A}=\frac{0.637F}{A} \quad \text{（C.1）}$$

式中：

f_{ts}——混凝土劈裂强度 MPa；

F——试件破坏荷载 N；

A——试件劈裂面面积 mm^2。

b)　强度值的确定应符合下列规定：

1)　将不少于 6 个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值（精确至 0.1 MPa）；

2)　若测值中的最大值或最小值中有 1 个算术平均值的差值超过 15%时，则把最大及最小值一并舍除，并用其余试件测值的算术平均值作为该组试件的层间劈裂强度值。

附 录 D

（资料性）

层间黏结强度测试方法

D.1 试件参照附录 B 给出的方法制备

D.2 试件测试按下列步骤进行：

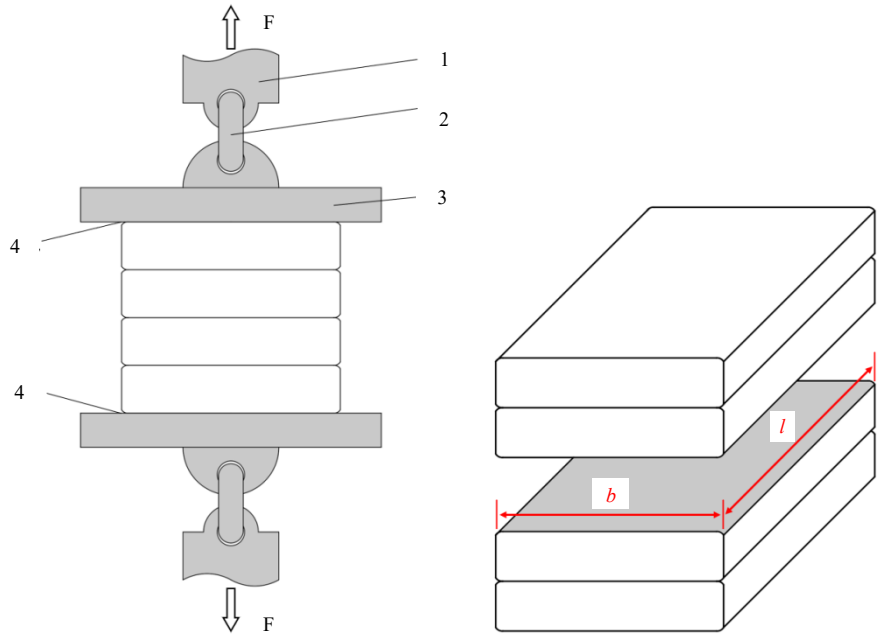
a） 测试环境相对湿度不宜小于 50%，温度应保持在 20 ℃±5 ℃。

b） 在试件上下两面各放厚度 10 mm、边长 60 mm 的方形钢板模具，在钢板侧面及试件侧面划出中心线，并用高强胶将钢板与试件按中心线位置对齐黏结牢固；高强胶可选用的改性丙烯酸酯 AB 胶或其他高强胶，剪切强度大于或等于 20 MPa。黏结胶固化 24 h 后进行试验，如从钢板与试件胶结处拉开，此试件无效。

c） 将钢板与试验机夹具连接。

d） 试验机通过拉伸夹具将试件从打印层间拉开，得到破坏荷载（F）。

e） 测量破坏处的层间接触面边长的平均值宽度（b）和长度（l）；计算断裂接触面积（A），$A = bxl$。



1-图铰链连接件；2-U 形钢环；3-钢板模具；4-高强黏结胶

图 D-1 层间粘结强度测试示意

D.3 层间黏结强度结果的计算及确定应按下列方法进行：

a） 层间黏结强度按公式（D.1）计算，结果精确到 0.1MPa：

$$f = F/A \quad \text{（D.1）}$$

式中：

f——打印层间黏结强度（MPa）；

F——试件破坏荷载（N）；

A——层间接触面积（mm^2），$A = b \times l$。

b） 强度值的确定应符合下列规定：

1） 将不少于 6 个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值（精确至 0.1 MPa）；

2） 若测值中的最大值或最小值中有 1 个与算术平均值的差值超过 15%时，则把最大及最小值一并舍除，并用其余试件测值的算术平均值作为该组试件的层间黏结强度值。

参 考 文 献

[1] JTS 257—2008 水运工程质量检验标准
[2] T/JSCTS 7—2022 交通工程3D打印护岸工程和声屏障工程质量检验标准
[3] JTS 154—2018 防波堤与护岸设计规范
[4] TCRCS 786—2020 混凝土3D打印技术规程