

ECC桥面连续构造设计参数敏感性有限元分析

冉 瑶¹, 邢兰景², 杨嘉城¹, 夏建平², 鲁 伟³, 管延华¹, 孙仁娟¹

(1. 山东大学 齐鲁交通学院, 山东 济南 250003; 2. 山东高速基础设施建设有限公司, 山东 济南 250000;

3. 比亚迪汽车工业有限公司, 广东 深圳 518118)

摘 要: 为研究超高韧性水泥基复合材料(ECC)桥面连续构造的力学性能, 利用ABAQUS软件构建全桥有限元模型, 分别以脱黏区长度、厚度及纵向配筋率为设计参数, 开展车道荷载、桥梁整体降温 and 支座不均匀沉降三种荷载作用下的ECC桥面连续构造力学分析。结果表明: 增加脱黏区长度能有效降低ECC桥面连续构造在荷载作用下的力学响应, 当脱黏区长度为相邻两跨主梁长度之和的5%时, 即能满足构造受力和变形的要求; ECC桥面连续构造与桥面铺装厚度相当时, 最不利荷载组合作用下应力和应变最小; 纵向配筋率对ECC桥面连续构造的受力影响较小。ECC桥面连续构造在三种荷载作用下的最大拉应力为3.58 MPa, 达到ECC抗拉强度的74%, 已充分发挥ECC的应变硬化特征, 能有效防止构造受拉开裂。

关键词: ECC; 桥面连续构造; 有限元; 设计参数; 力学分析

中图分类号: U443.31

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)09-0217-06

Finite Element Analysis of Design Parameter Sensitivity of ECC Bridge Deck Continuous Structure

RAN Yao¹, XING Lanjing², YANG Jiacheng¹, XIA Jianping², LU Wei³, GUAN Yanhua¹, SUN Renjuan¹

(1. Qilu College of Transportation, Shandong University, Jinan 250003, China; 2. Shandong Expressway Infrastructure Construction Co., Ltd., Jinan 250000, China; 3. Byd Auto Industry Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: In order to study the mechanical properties of the continuous structure of bridge deck with engineered cementitious composites (ECC), Abaqus software is used to establish the finite element model of the whole bridge. The length, thickness and longitudinal reinforcement ratio of the debonding zone are taken respectively as the design parameters to carry out the continuous structural mechanics analysis on ECC bridge deck under three kinds of loads, such as lane load, overall bridge cooling and uneven settlement of supports. The results show that increasing the length of the debonding zone can effectively reduce the mechanical response of ECC deck continuous structure under load. When the length of the debonding zone is 5% of the sum of the length of the two adjacent girders, the requirements of structural stress and deformation can be met. Under the action of the most unfavorable load combination, the stress and strain of ECC bridge deck are the least when the continuous structure is the same thickness as the bridge deck pavement. The longitudinal reinforcement ratio has little influence on the stress of ECC bridge deck continuous structure. The maximum tensile stress of ECC bridge deck continuous structure under three kinds of loads is 3.58 MPa, which is 74% of the ECC tensile strength. It has fully exploited the strain hardening characteristics of ECC, and can effectively prevent the structure from cracking due to tension.

Keywords: ECC; continuous structure of bridge deck; finite element; design parameters; mechanical analysis

0 引 言

传统多跨简支梁桥桥跨之间需设置伸缩缝, 在

车辆冲击荷载作用和雨雪侵蚀作用下, 极易破坏。这不仅会引起行车过程中明显的震动, 严重影响行车舒适性, 还可能导致桥梁结构损坏, 从而增加维护和修复的难度和成本^[1-2]。20世纪70年代末, 桥梁研究者提出用桥面连续构造代替伸缩装置, 极大地改善了桥梁结构的整体性、耐久性及行车舒适性^[3-4]。

普通混凝土材料的抗拉强度较低, 且其变形能力有限, 这使得它在应用于桥面连续构造时存在一

收稿日期: 2024-09-08

作者简介: 冉瑶(1999—), 男, 博士在读, 从事道路材料与桥梁结构研究工作。

通信作者: 管延华(1969—), 男, 博士, 副教授, 从事路基、桥梁加固技术、交通基础设施新材料研发及应用研究工作。电子邮箱: guanyanhua@sdu.edu.cn

定的局限性。在负弯矩作用下,这种混凝土材料容易出现裂缝。这些裂缝不仅会危害桥梁的整体结构安全,还可能显著降低桥梁的耐久性^[5],将桥面连续构造处的混凝土替换为抗裂性能优异的超高性能混凝土或高韧性的低弹模混凝土,成为优化结构的主要手段之一^[6-8]。超高韧性水泥基复合材料(engineered cementitious composite, ECC)抗拉性能优异,在弯拉作用下表现为多缝开裂及应变硬化的特性^[9]。多年来,ECC的强度和延性显著提升,使其在桥梁工程中展现出了广泛的应用前景^[10-12]。Li Victor及其团队在2003年对ECC桥面连接板的构件开展了静力加载试验,探索了不同设计参数对结构性能的影响。研究成果随后成功应用于美国密歇根州94号州级高速公路大桥^[13-16]。秦秋红^[17]探讨了一些ECC连接板的材料及施工问题,为其应用和发展提供了重要的理论支持和实践指导。部分学者通过有限元软件探讨了ECC桥面连续构造的受力特征及疲劳荷载下的表现,提出了优化ECC桥面连续构造的建议^[18-19]。Zhong Junfei等^[20]基于广义应变能密度(GSED)的结构工作状态理论分析了ECC连接板在竖向交通荷载作用下的工作状态。徐召等^[21]研究了钢筋与ECC有无黏结等因素对ECC连接板受力性能的影响,提出了ECC连接板的优化设计方法。

为了对ECC桥面连续构造进行系统的受力分析,明确ECC桥面连续构造在多种荷载工况作用下的受力特征,采用ABAQUS软件创建实桥有限元模型,分别探讨了ECC桥面连续构造的脱黏区长度、厚度及纵向配筋率三种设计参数对其在外界荷载条件下的受力影响规律,为ECC桥面连续构造在实际工程中的应用提供了参考。

1 ECC桥面连续构造全桥有限元模型

ECC桥面连续构造通常由锚固区及脱黏区组成,如图1所示。为充分发挥ECC优异的力学性能,锚固区设置的抗剪栓钉提供了必要的剪切约束,确保主梁和ECC桥面之间的有效连接,而脱黏区采用橡胶层或沥青油毡处理有效减少了温度变化和沉降引起的应力传递,进一步增强了整体结构的适应性和耐用性^[22]。

1.1 模型建立

本文选取山东某高速一简支T梁桥为背景,主梁跨径为20 m,桥面铺装层厚度为12 cm,均采用C50混凝土。两跨主梁梁端间距8 cm,采用ECC桥面连续

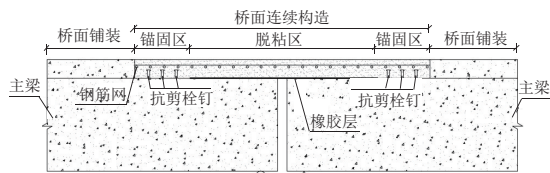


图1 ECC桥面连续构造

构造拼接,设置桥面连续构造长度为3 m^[23-24],纵向钢筋选择HRB400钢筋,直径为12 mm,而横向钢筋选择直径为10 mm的R235钢筋,纵横向钢筋的间距均设置为100 mm。脱黏区与主梁之间作无黏结处理,法向接触为“硬”接触,切向接触设置摩擦系数为0.4^[25]。桥面铺装与主梁通过绑定(tie)约束,钢筋通过内置区域(embedded)的方式约束于ECC和混凝土内。图2为ABAQUS软件构建的全桥有限元模型。

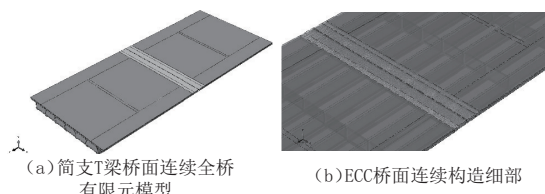


图2 有限元模型

1.2 材料本构

C50混凝土的应力-应变关系由《混凝土结构设计规范》^[26]确定,如图3所示。通过试验结果拟合的ECC应力-应变关系如图4所示。ECC和C50混凝土的材料参数见表1,均选用混凝土损伤塑性模型^[27]模拟材料的损伤开裂,模型参数见表2。钢筋弹性模量为200 GPa,泊松比为0.3,采用理想弹塑性模型,模型本构如图5所示^[28]。

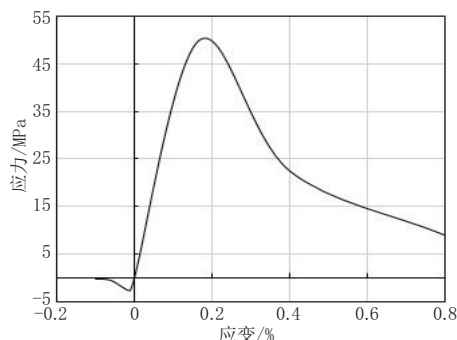


图3 C50混凝土应力-应变曲线

2 参数设置及荷载工况

2.1 参数设置

ECC桥面连续构造初始设计参数为:脱黏区长度2 m,厚度12 cm,纵向配筋率1.0%。分别通过采用不同的脱黏区长度、厚度、纵向配筋率,探究三个设计参数的变化对ECC桥面连续构造的受力性能的

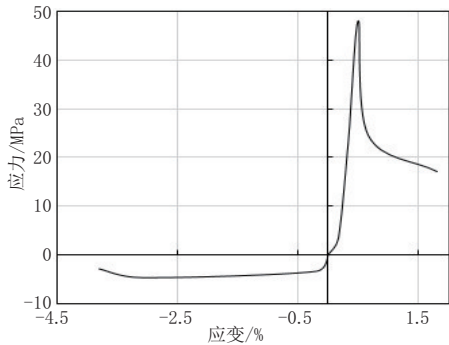


图4 ECC 应力-应变曲线

表1 材料参数

材料	初裂强度 度/MPa	抗压强度 度/MPa	抗拉强度 度/MPa	极限拉 应变/%	弹性模 量/MPa	泊松比
C50	—	50	2.65	—	3.45×10^4	0.2
ECC	2.94	48	4.81	3.07	2.0×10^4	0.2

表2 CDP 模型参数

膨胀角 Ψ	偏心率 ε	σ_{b0}/σ_{c0}	K_C	黏度系数 μ
30°	0.1	1.16	0.667	0.001

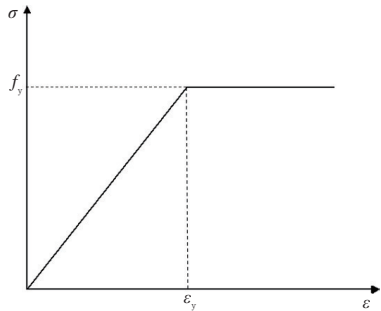


图5 钢筋应力-应变曲线

影响。其中,脱黏区长度分别选取 1.2、2.0、2.8 m;桥面连续厚度分别设置为 8、10、12、14、16 cm;纵向配筋率分别取 0.4%、1.0%、1.6%、2.2%。

2.2 荷载工况

桥面连续构造的开裂破坏主要是由汽车荷载、温度变化和支座沉降引起的^[29]。在汽车荷载作用下,桥面连续构造承受负弯矩作用,使顶部产生弯拉应力。两侧主梁在降温条件下的收缩变形会对桥面连续构造产生拉伸作用。相邻墩台之间出现的不均匀沉降会使桥面连续构造出现弯曲变形。

基于以上讨论,本文设置了以下三种荷载工况。

(1)汽车荷载取公路 I 级车道荷载。均布荷载取 10.5 kN/m,集中荷载取 300 kN,设冲击系数为 0.3,设横向折减系数为 0.67^[30]。根据最不利影响线布置,整个桥面施加均布荷载为 $q=10.5 \times (1+0.3) \times 0.67/3.75=2.4 \text{ kN/m}^2$,跨中位置施加集中荷载为 $P=300 \times (1+0.3) \times 0.67=261.3 \text{ kN}$ 。

(2)桥梁整体降温。C50 混凝土和 ECC 的线膨胀

系数均采用 $1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$,钢材的线膨胀系数取 $1.2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ^[30],整体降温设置为 25°C 。

(3)支座不均匀沉降。设桥面连续构造下方相邻两桥墩的支座沉降差为 5 mm^[31]。

3 有限元计算结果与分析

3.1 脱黏区长度

不同脱黏区长度对 ECC 桥面连续构造力学性能的影响关系如图 6 所示。由图 6(a)可知,ECC 桥面连续构造的力学响应在支座不均匀沉降作用时最为显著,其次是整体降温作用,车道荷载的影响最小。当脱黏区长度分别取 1.2、2.0、2.8 m 时,在支座不均匀沉降作用下,最大拉应力分别为 3.58、3.36、3.33 MPa;在整体降温作用下,最大拉应力分别为 3.33、3.07、2.92 MPa;在车道荷载作用下,最大拉应力仅分别为 3.02、2.65、2.43 MPa。同时,随着脱黏区长度从 1.2 m 增加到 2.8 m,在车道荷载、整体降温和支座不均匀沉降作用下,最大拉应力分别降低了约 19.5%、12.3% 和 7.0%,ECC 桥面连续构造内的拉应力得到了有效分散,从而显著降低了最大拉应力。这些结果表明,增加脱黏区长度显著改善了桥面连续构造的受力状态。

由图 6(b)可知,在支座不均匀沉降和整体降温作用下,脱黏区长度变化对 ECC 桥面连续构造的变形有明显影响,而车道荷载作用下脱黏区长度变化引起的构造变形较小。当脱黏区长度分别取 1.2、2.0、2.8 m 时,支座不均匀沉降作用下的最大拉应变分别为 0.59%、0.19% 和 0.13%,整体降温作用时的最大拉应变分别为 0.49%、0.135% 和 0.042%,而车道荷载作用下的最大拉应力仅分别为 3.02、2.65、2.43 MPa。另外,当脱黏区长度从 1.2 m 增加到 2.0 m 时,整体降温和支座不均匀沉降作用时的最大拉应变显著降低。然而,当脱黏区长度从 2.0 m 增加到 2.8 m 时,降低效果明显减小,最大仅从 0.135% 降至 0.042%。

综上所述,当脱黏区长度较小时,桥面连续构造的拉应力和拉应变较大,增加脱黏区长度能有效改善其力学性能。然而,一旦长度超过两跨主梁长度之和的 5%,对 ECC 桥面连续构造的受力变形改善效果并不显著。此外,过大的脱黏区长度可能导致锚固区长度不足,进而增加 ECC 桥面连续构造脱落破坏的风险。将脱黏区长度控制在 2 m,即两跨主梁长度之和的 5% 左右,以最大限度地发挥 ECC 桥面连续构造吸收变形的能力。在这种配置下,ECC 桥面连

续构造在各荷载作用下的应力及变形均能维持在较低水平,而进一步增加脱黏区长度对其受力和变形的改善效果有限。

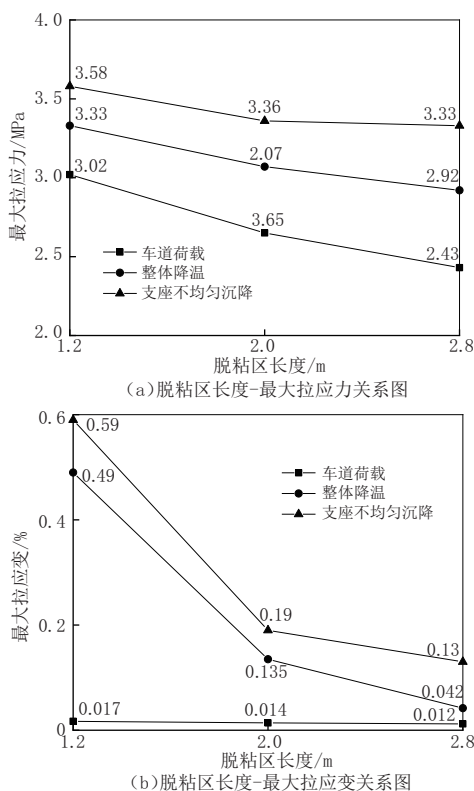


图6 脱黏区长度对ECC桥面连续构造的受力影响

3.2 桥面连续构造厚度

ECC桥面连续构造厚度与应力和应变的关系如图7所示。在图7(a)中可见,在支座不均匀沉降作用下,不同厚度ECC桥面连续构造的最大拉应力均高于整体降温和车道荷载作用下的值。支座不均匀沉降作用下的最大拉应力范围为3.29~3.42 MPa,整体降温作用下的范围为2.96~3.23 MPa,而车道荷载作用下的范围仅为2.49~2.81 MPa。在车道荷载及支座不均匀沉降两种荷载条件下,ECC桥面连续构造的最大拉应力与其厚度呈近似正比关系,最大分别达到了2.81 MPa和3.42 MPa。然而,在整体降温条件下,随着构造厚度的增加,最大拉应力逐渐减小,从8 cm厚的3.23 MPa减少至16 cm厚的2.96 MPa。

另外,如图7(b)所示,车道荷载作用下,ECC桥面连续构造的厚度变化对其最大拉应变影响较小,然而在整体降温和支座不均匀沉降作用下,构造厚度的变化对最大拉应变有显著影响。在车道荷载作用下,不同厚度ECC桥面连续构造的最大拉应变范围仅为0.011%~0.016%;在整体降温作用下,构造的最大拉应变范围为0.076%~0.27%,将ECC桥面连续构造厚度从8 cm增加到16 cm,最大拉应变降低了

71.9%;在支座不均匀沉降作用下,最大拉应变范围为0.075%~0.36%,16 cm厚度的最大拉应变约为8 cm厚度的3.8倍,表现出显著的变形增加。

综合考虑各种荷载工况的影响,选择合适的ECC桥面连续构造厚度至关重要。过大或过小的构造厚度均可能导致结构承受过大的应力和变形。确保钢筋保护层厚度的同时,建议选择与桥面铺装相同或接近的构造厚度,以确保结构的应力和应变处于最低水平,从而提高结构的安全性和长期稳定性。

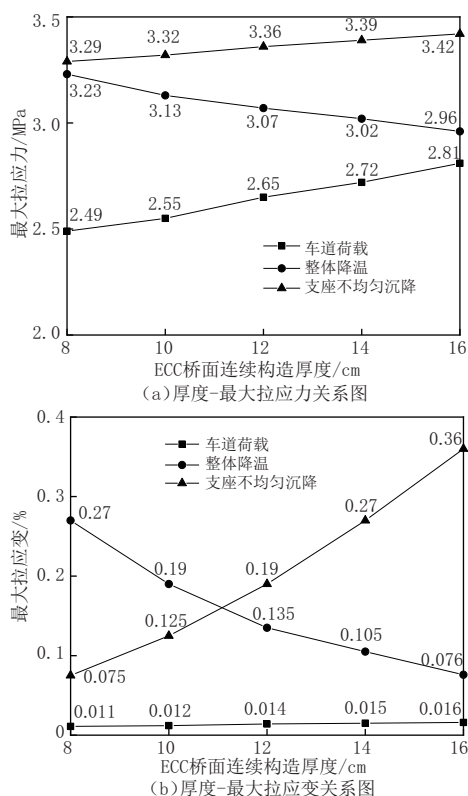


图7 厚度对ECC桥面连续构造的受力影响

3.3 纵向配筋率

纵向配筋率对ECC桥面连续构造的受力影响规律如图8所示。从图8(a)的分析可知,ECC桥面连续构造采用不同纵向配筋率时,在支座不均匀沉降作用下,最大拉应力均超过了3.2 MPa;而整体降温作用下,最大拉应力范围在3.02~3.1 MPa之间;车道荷载作用下的最大拉应力最大仅到2.66 MPa,这些数值均显示出支座不均匀沉降和整体降温作用对桥面连续构造的受力影响明显高于车道荷载作用。同时,在三种荷载作用下,增加ECC桥面连续构造的纵向配筋率对降低最大拉应力效果不明显。例如,在支座不均匀沉降作用下,配筋率从0.4%增加至2.2%时,最大拉应力从3.38 MPa降至3.32 MPa,仅降低了1.8%。

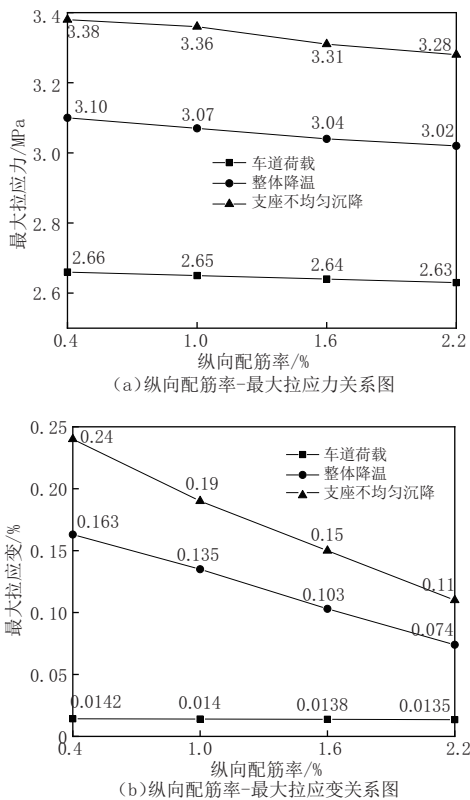


图 8 纵向配筋率对 ECC 桥面连续构造的受力影响

图 8(b)显示,支座不均匀沉降作用引起的 ECC 桥面连续构造变形最大,整体降温作用次之,车道荷载作用最小。随着纵向配筋率从 0.4% 增加到 2.2%,车道荷载作用下的最大拉应变从 0.0142% 减小至 0.0135%,仅降低了 5%;整体降温作用的最大拉应变从 0.163% 逐渐降低至 0.074%,降低了 55%;而在支座不均匀沉降作用下,最大拉应变从 0.24% 降低至 0.11%,减少了 50%。三种荷载作用下的最大拉应变均随着纵向配筋率的增加呈现降低趋势,表明增加纵向配筋率能有效减少桥面连续构造在荷载作用下的变形。

综合分析可得,即使采用较低的纵向配筋率,ECC 桥面连续构造由外界荷载引起的最大拉应力最大值为 3.38 MPa,仍明显低于 ECC 的极限抗拉强度。虽然低配筋率可能会导致一定程度的变形增加,但 0.4% 的纵向配筋率所引起的构造最大拉应变仅为 0.24%,远低于 ECC 材料的极限拉应变 3.07%。此外,由于 ECC 具有应变硬化特点,它在受力时展现出卓越的延性和抗变形能力。这种特性使 ECC 材料能够在承受外部荷载时发生较大变形而不发生破坏。

为综合考虑工程需要和经济性,ECC 桥面连续构造的纵向配筋率仅需满足规范的最小配筋率即可,无须采用过高的配筋率。

4 结 论

通过 ABAQUS 建立全桥有限元模型,分别以脱黏区长度、厚度及纵向配筋率为设计参数,对 ECC 桥面连续构造在车道荷载、桥梁整体降温及支座不均匀沉降三种荷载作用下的力学性能进行模拟分析,主要有以下结论:

(1)增加脱黏区长度能有效降低 ECC 桥面连续构造的最大拉应力和最大拉应变。将脱黏区长度控制在 2 m,即两跨主梁长度之和的 5% 左右时,能显著减小各种荷载作用下的拉应力,并有效控制最大拉应变,同时避免过大脱黏区长度带来的锚固问题和脱落风险。

(2)在最不利荷载作用下,ECC 桥面连续构造厚度过大或过小都可能产生较大的应力和应变。当厚度取 12 cm 左右,即与桥面铺装厚度相近时,最大拉应力和拉应变之和最小。因此,取与桥面铺装相近的 ECC 桥面连续构造厚度能最小化构造的应力和应变,确保构造在各种荷载作用下的安全性和可靠性。

(3)增加纵向配筋率能有效控制 ECC 桥面连续构造在荷载作用下的变形,但低纵向配筋率并不会导致构造受力破坏,在支座不均匀沉降作用下,0.4% 配筋率引起的最大拉应力和拉应变分别为 3.38 MPa 和 0.24%,均显著低于 ECC 材料的极限拉伸强度和极限拉应变,ECC 桥面连续构造的纵向配筋率仅需符合规范的最小配筋率即可。

(4)在支座不均匀沉降、整体降温和车道荷载作用下,ECC 桥面连续构造的最大拉应力最值分别为 3.58、3.10、2.66 MPa,最大拉应变最值分别为 0.59%、0.163%、0.014%,支座不均匀沉降和整体降温作用对 ECC 桥面连续构造的影响明显大于车道荷载作用,但均未超过 ECC 的抗拉强度和极限拉应变。其中,3.58 MPa 的拉应力已达到 ECC 抗拉强度的 74%,此时 ECC 处于应变硬化阶段,能有效控制构造的开裂变形。

参考文献:

[1] 李萍,何流,梁旭之,等.桥梁伸缩缝快速修补材料配制及性能研究[J].公路交通技术,2023,39(2):114-119.
[2] Qian S, Lepech M D, Li K V C. Introduction of Transition Zone Design for Bridge Deck Link Slabs Using Ductile Concrete[J]. ACI materials journal, 2009, 106(1): 96-105.
[3] Huang J, Su Q, Zhang L, et al. Rapid treatment technique of diseases of the rocking axle bearing of railway simply supported beam bridge[C]// Advances in Civil Structures, Pts 1 and 2, 2013: 1440-1444.
[4] Integral and Semi-Integral Bridges[J]. Steel Construction: Design and

- Research, 2010, 3(2): 68.
- [5] 庄一舟,徐亮,程俊峰,等.简支梁桥桥面连续结构力学特性理论分析[J].中国公路学报,2017,30(7):73-85.
- [6] 陈小乐.高强抗裂性弹性混凝土复合材料在公路桥梁桥面连续结构中的应用技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
- [7] 李晨翔.聚乙烯醇纤维水泥基复合材料在装配式桥梁桥面连续构造中的应用[J].上海建设科技,2022(4):67-69.
- [8] 张恺,齐一男,王宇铮.超高性能混凝土(UHPC)在混凝土梁桥桥面连续加固中的应用研究[J].建筑机械,2023(11):69-73.
- [9] 袁宇辉,李安,孙健翔.基于国产PVA纤维的ECC混凝土制备及性能研究[J].建筑结构,2023,53(增刊1):1569-1573.
- [10] 齐宝欣,李宜人.PVA-ECC-钢筋复合梁抗冲击的影响因素及破坏特性研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2022,38(2):236-244.
- [11] 樊健生,刘入瑞,张君,等.采用混杂纤维ECC的叠合板组合梁负弯矩受力性能试验研究[J].土木工程学报,2021,54(4):57-67.
- [12] 蔡履沐,叶斌斌,王海深,等.ECC材料性能进展及其在建筑结构中的应用[J].建筑结构,2024(22):93-99.
- [13] Yun Yong K, Gregor F, Victor C L. Performance of bridge deck link slabs designed with ductile engineered cementitious composite[J]. Aci Structural Journal, 2004, 101(6): 792-801.
- [14] Gregory A. Keoleian, Alissa Kendall, Jonathan E. *et al.* Life Cycle Modeling of Concrete Bridge Design: Comparison of Engineered Cementitious Composite Link Slabs and Conventional Steel Expansion Joints[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2005: 1364.
- [15] Michael D L, Victor C L. Application of ECC for bridge deck link slabs[J]. Materials and Structures, 2009, 42(9): 1185-1195.
- [16] Shunzhi Qian, Lepech Michael D, Kim Yun Yong, *et al.* Introduction of Transition Zone Design for Bridge Deck Link Slabs Using Ductile Concrete[J]. Aci Materials Journal, 2009(1): 96-105.
- [17] 秦秋红.ECC柔性桥面连接板设计与应用研究[D].郑州:郑州大学,2011.
- [18] 朱发旺.PVA-ECC桥面连接板的设计与性能研究[D].南京:东南大学,2019.
- [19] 钱臻旭.基于高延性ECC材料的桥面连续优化设计及力学性能研究[D].南京:东南大学,2021.
- [20] Junfei Zhong, Jiyang Shen, Wei Wang, *et al.* Working State of ECC Link Slabs Used in Continuous Bridge Decks[J]. Applied Sciences, 2019, 9(21): 4667.
- [21] 徐召,马雪媛,郭亚唯,等.基于高延性工程水泥基复合材料的无伸缩缝桥面连续构造优化试验研究[J].工业建筑,2024,54(4):188-194.
- [22] 鲁纬.国产PVA纤维——尾矿砂ECC在桥梁拼接中的应用研究[D].济南:山东大学,2023.
- [23] Alp C, Paul Z. Behavior and design of link slabs for jointless bridge decks[J]. Pei Journal, 1998, 43(3): 68-78.
- [24] Chu K, Hossain K M A, Lachemi M. Fatigue behaviour of joint-free bridges with steel and GFRP-reinforced ECC link slabs[J]. Structures, 2023(47): 829-845.
- [25] 谢俊,申永刚,张非特,等.倒T形盖梁简支梁桥桥面连续受力分析[J].低温建筑技术,2023,45(11):47-51.
- [26] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范[S].
- [27] Xuan Bach L. Finite element modelling of reinforced concrete beam strengthening using ultra-high performance fiber-reinforced shotcrete combined with reinforcing bars[J]. Structures, 2024: null.
- [28] 常跃,黄俊旗,种迅,等.超高性能混凝土加固钢筋混凝土梁受弯性能研究[J].振动与冲击,2024,43(11):288-296.
- [29] 苏龙,杨絮,胡章立.空心板桥病害剖析及桥面连续结构整治对策[J].公路交通技术,2011(2):100-103.
- [30] JGT D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [31] 焦鼎.聚氨酯基纤维增强弹性混凝土力学性能研究及其在桥面连续构造中的应用[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

