



EXPERIMENTAL STUDY ON FLEXURAL BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SLAB STRENGTHENED ULTRA-HIGH-PERFORMANCE CONCRETE

Hoang Viet Hai

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 09/09/2023

Revised: 10/11/2023

Accepted: 9/12/2023

Published online: 15/12/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.9.7>

* *Corresponding author*

Email: hoangviethai@utc.edu.vn

Abstract. Retrofitting and rehabilitating the structure of reinforced concrete slab bridges are subjects of numerous research studies. However, there has been limited research on repairing these structures using Ultra-High-Performance Concrete (UHPC) materials. This article presents the results of experimental research on the flexural behavior of three concrete slab specimens: one with normal concrete (NC) serving as the control slab, and two specimens with the same height as the control slabs but replacing the protective concrete layer of 30 mm with a 30 mm UHPC layer, with or without steel anchors, in comparison to the normal concrete slab. A four-point bending test was conducted. The experimental results show that the specimen retrofitted with UHPC increases the ultimate deflection by 133% and the ultimate moment by 31.4% compared to the control specimen. For the specimen without anchors connecting to the normal concrete, delamination between the two layers of UHPC/NC was observed during the test. This study has opened up new research orientations and potential for improving the longevity of concrete slab bridges using UHPC.

Keywords: Ultra-High-Performance Concrete, four-point flexural test, flexural behavior.

@ 2023 University of Transport and Communications



THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ CHỊU UỐN BẢN BÊ TÔNG CỐT THÉP ĐƯỢC TĂNG CƯỜNG BÊ TÔNG SIÊU TÍNH NĂNG (UHPC)

Hoàng Việt Hải

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 09/09/2023

Ngày nhận bài sửa: 10/11/2023

Ngày chấp nhận đăng: 9/12/2023

Ngày xuất bản Online: 15/12/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.9.7>

* Tác giả liên hệ

Email: hoangviethai@utc.edu.vn

Tóm tắt. Sửa chữa và tăng cường kết cấu mặt cầu bê tông cốt thép đang là đối tượng của nhiều nghiên cứu, tuy nhiên hiện nay chưa có nhiều nghiên cứu về sửa chữa kết cấu này bằng vật liệu bê tông cường độ siêu cao (UHPC). Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm ứng xử chịu uốn của 03 mẫu bản: 01 mẫu bản bê tông cốt thép (BTCT), 02 mẫu cùng chiều cao với mẫu BTCT có thay thế 03 cm lớp bê tông bảo vệ bằng lớp UHPC neo liên kết hoặc không với bản bê tông hiện hữu. Kết quả thí nghiệm uốn 04 điểm cho thấy việc tăng cường UHPC ở lớp phủ bê tông bề mặt sẽ tăng độ võng tới hạn lên 133%, mô men uốn phá hoại so với mẫu đối chứng lên 31,4% đồng thời làm thay đổi đặc điểm phá hoại của mẫu. Đối với mẫu không có liên kết với bản bê tông hiện hữu, mẫu bị phá hoại với mô men uốn nhỏ hơn và xuất hiện hiện tượng bong tách 02 lớp này. Nghiên cứu này đã mở ra một hướng nghiên cứu mới và tiềm năng cho việc cải thiện và gia tăng tuổi thọ của cầu bê tông cốt thép sử dụng UHPC.

Từ khóa: Bê tông siêu tính năng (UHPC), mô hình uốn 04 điểm, ứng xử chịu uốn.

@ 2023 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu mặt cầu Bê Tông Cốt Thép (BTCT) thông thường hiện đang được sử dụng phổ biến ở Việt Nam và trên thế giới. Kết cấu này là bộ phận chịu tải trọng trực tiếp từ tải trọng xe và đồng thời chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố môi trường như độ ẩm, sự xâm nhập ion clorua, ... qua thời gian khai thác kết cấu BTCT sẽ xuất hiện xuống cấp và hư hỏng. Các biện pháp sửa chữa bản mặt cầu hiện nay chủ yếu là phương pháp bơm keo epoxy hoặc trám/vá các vết nứt,

với những dạng hư hỏng nghiêm trọng hơn như bong vữa bê tông, ăn mòn cốt thép biện pháp sửa chữa hay được sử dụng là thay mới bản bê tông. Biện pháp thay mới dẫn đến việc cần phải cấm cầu trong thời gian dài nhằm phục vụ công tác tháo dỡ và đổ lại bê tông mới. Các biện pháp tăng cường cho mặt cầu bê tông cốt thép hay áp dụng là phương pháp dán sợi composite cường độ cao, dán bản thép để tăng cường cho mặt đáy, bề mặt phía trên thông thường sẽ cần phải đổ 01 lớp BTCT liên kết với bản mặt cầu cũ, việc làm này dẫn đến tăng tĩnh tải và không có lợi về mặt chịu lực. Do đó, giải pháp sử dụng vật liệu mới để sửa chữa và tăng cường nhằm nâng cao tuổi thọ, đảm bảo khả năng chịu lực của bản mặt cầu BTCT, giảm thời gian thi công là vấn đề có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

Bê tông siêu tính năng hoặc tính năng siêu cao (Ultra High Performance Concrete) hay còn gọi là bê tông UHPC là loại vật liệu có một số tính năng cơ học vượt trội so với bê tông thông thường như là: cường độ chịu nén rất cao (từ 120MPa – 200MPa), khả năng chịu kéo, kháng nứt lớn (từ 8-12 MPa), khả năng chống ăn mòn cao do độ đặc chắc cao dẫn tới hệ số thấm nước, hệ số thấm ion clorua thấp, ...[1-3] Với đặc tính như vậy, bê tông UHPC là một trong những giải pháp thay thế lớp bê tông bảo vệ bị xuống cấp và hư hỏng. Bê tông UHPC đã được áp dụng trong việc sửa chữa và khôi phục khả năng chịu lực của bản mặt cầu BTCT ở một số công trình trên thế giới như cầu Chillon ở Thụy Sĩ [4]. UHPC đã ứng dụng ở Việt Nam trong việc xây dựng các công trình cầu mới: cầu dân sinh,.. Việc ứng dụng trong việc sửa chữa cầu hiện tại còn rất hạn chế. Hiện tại, loại vật liệu này mới áp dụng trong việc sửa chữa mặt cầu bản thép trục hướng của cầu Thăng Long. Một số nghiên cứu ở nước ta chủ yếu tập trung vào phân tích ứng xử chịu kéo của bê tông UHPC nhằm phân tích được đường cong mối quan hệ ứng suất biến dạng của vật liệu này [1, 5], ứng xử chịu cắt [6] hay nghiên cứu ứng xử chịu uốn của dầm UHPC [7, 8]. Hiện tại chưa có nhiều nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng sự có mặt của lớp UHPC trên bản BTCT nhằm đánh giá hiệu quả của vật liệu mới này ứng dụng trong việc sửa chữa bản BTCT. Một số nghiên cứu trên thế giới chủ yếu tập trung vào đánh giá sự ảnh hưởng của lớp UHPC ở vùng chịu kéo [9-12].

Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá ứng xử chịu uốn của mẫu bản BTCT được tăng cường lớp UHPC ở vùng chịu nén bằng thực nghiệm. Các mẫu được tăng cường sẽ được so sánh với mẫu BTCT đối chứng.

2. VẬT LIỆU VÀ THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Bê tông siêu tính năng (UHPC) sử dụng để chế tạo gồm các cốt liệu thành phần chính với đặc tính kỹ thuật được như sau: Xi măng Portland PC40; Cát Quartz; Phụ gia và tro bay; Sợi thép sử dụng trong bê tông là loại sợi thép mạ đồng. Sợi thép có cường độ chịu kéo cao hơn 2000 MPa và đường kính bằng 0,2 mm dài 12 mm. Thí nghiệm vật liệu đã được tiến hành ở các nghiên cứu trước đây [1]. Cường độ chịu nén của mẫu bê tông UHPC ở 28 ngày có cường độ trung bình 130 MPa, cường độ chịu kéo trung bình 9 MPa. Bê tông thường được sử dụng trong nghiên cứu có cường độ chịu nén $f_c' = 35,8$ MPa ở 28 ngày tuổi.

Cốt thép thường được sử dụng có các loại cốt thép sau đây: cốt thép ở vùng chịu kéo có gờ có đường kính 12 mm; cốt thép ở vùng chịu nén có đường kính 10 mm; cốt thép đai sử dụng là cốt thép có đường kính 6 mm ở khu vực đầu dầm để tránh việc phá hủy cục bộ ở khu vực gối cầu. Chi tiết bố trí cốt thép như trong Hình 2.

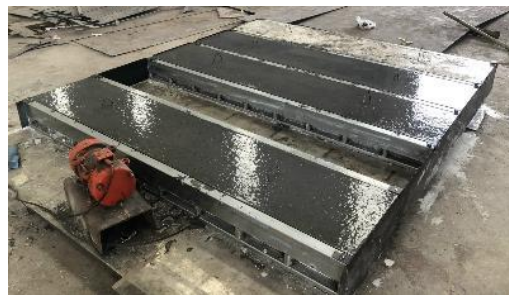
2.2. Thiết lập mô hình thí nghiệm khôi phục khả năng chịu lực bằng UHPC

Để đánh giá được ảnh hưởng của lớp UHPC trên bản BTCT, nghiên cứu sử dụng cấu hình kết cấu bản mặt cầu giàn thép của cầu Chương Dương (Hình 1). Bản mặt cầu phần xe chạy dày 140 mm được liên hợp và kê trên 05 dầm dọc với khoảng cách giữa các dầm dọc là 1530 mm. Trong nghiên cứu này chỉ xem xét trường hợp bê tông UHPC nằm ở vùng chịu nén của bản BTCT.

Kích thước của bản BTCT được chế tạo như sau: chiều dài 1800 mm; chiều rộng 360 mm; chiều cao 140 mm. Đối với bản đối chứng, chiều cao đổ bê tông là 140mm. Trong khi đó, hai mẫu còn lại chiều cao đổ bê tông thường là 110 mm, sau đó 02 ngày sẽ tiến hành đổ lớp bê tông UHPC dày 30 mm (Hình 3, Hình 4). Các mẫu sau đó sẽ được phủ lớp phim tránh mất nước và tiến hành thí nghiệm uốn sau 28 ngày. Mẫu đối chứng bằng bê tông cốt thép được ký hiệu là mẫu NC, trong khi đó mẫu có 30 mm UHPC không có neo và có neo liên kết với BTCT được ký hiệu lần lượt là UHPC-0-30 và UHPC-30.



Hình 3. Bề mặt mẫu trước khi đổ bê tông UHPC.



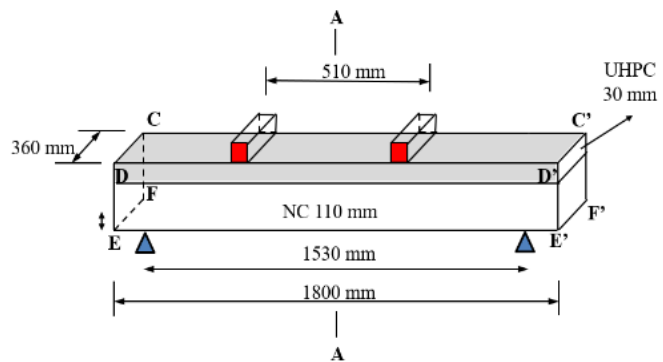
Hình 4. Mẫu sau khi đổ bê tông UHPC.

2.3. Sơ đồ thí nghiệm

Mẫu bản được tiến hành thí nghiệm uốn 04 điểm trong phòng thí nghiệm của Trường Đại học giao thông vận tải (Hình 5.a). Khoảng cách giữa 02 gối là 1530 mm tương tự như khẩu độ làm việc của bản BTCT ở mặt cầu Chương Dương. Thí nghiệm uốn 04 điểm với khoảng cách giữa 02 điểm uốn là 510 mm (Hình 5.b).



a)

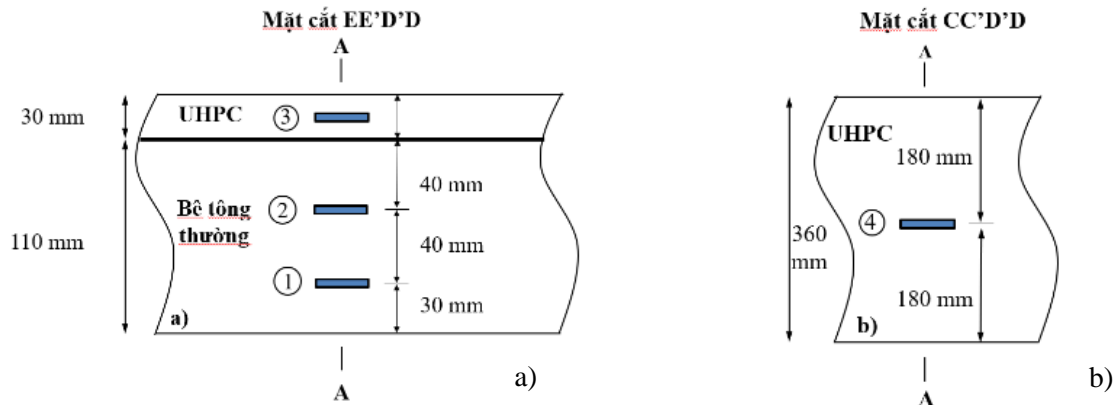


b)

Hình 5. Thí nghiệm uốn 04 điểm.

Thí nghiệm được thực hiện với tốc độ gia tải là 0,1 kN/s. Trong quá trình làm thí nghiệm, độ võng ở vị trí giữa nhịp được đo đạc thông qua 01 LDVT. Ngoài ra, biến dạng tương đối tại mặt cắt giữa nhịp theo chiều cao dầm chủ cũng được tiến hành đo đạc thông qua 04 lá điện trở

Transport and Communications Science Journal, Vol 74, Issue 9 (12/2023), 1100-1109
 được gắn ở các vị trí như trên hình 6.



Hình 6. Sơ đồ bố trí lá điện trở tại mặt cắt giữa nhịp: a) dọc chiều cao bản ; b) mặt trên cùng của bản.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Dạng phá hoại và độ võng ở vị trí giữa nhịp của bản BTCT.

Lực phá hoại và dạng phá hoại của 03 mẫu bản được tổng hợp ở Bảng 1. Sự phát triển của vết nứt tương ứng với giá trị tải trọng tác dụng lên bản được mô tả trên Hình 7.



Hình 7. Dạng phá hoại của mẫu và sự phát triển của vết nứt theo cấp tải trọng: a) Mẫu đối chứng; b) Mẫu 30 cm UHPC không có neo liên kết ; c) Mẫu 30 cm UHPC có neo liên kết.

Bảng 1. Tổng hợp kết quả thí nghiệm.

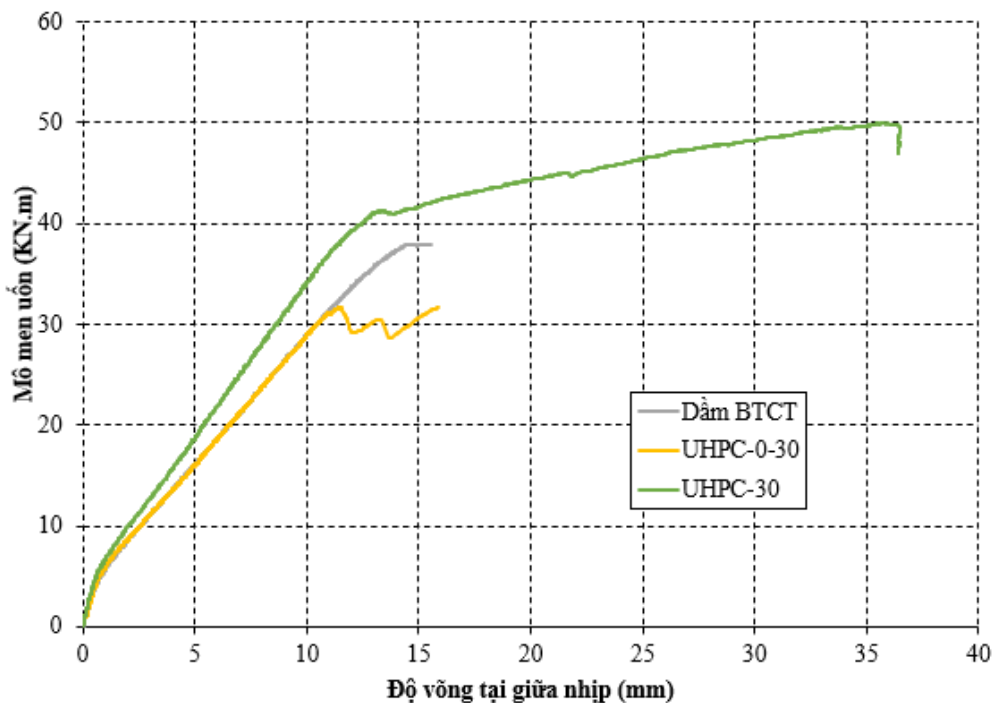
Ký hiệu mẫu	Giới hạn phá hủy		$M_{u, phá hủy}$	Dạng phá hủy
	P_u (kN)	δ_u (mm)		
NC	148,35	15,65	37,83	Cắt
UHPC-0-30	121,22	11,72	30,91	Cắt
UHPC-30	195,06	36,47	49,74	Uốn

Trong đó: P_u : Lực phá hoại, δ_u : độ võng ở giữa nhịp ở trạng thái phá hoại

Mẫu NC làm bằng BTCT bị phá hoại khi lực tới hạn $P_u = 148,35$ KN, tương ứng với mô men uốn $M_{u,exp} = 37,83$ kN.m và độ võng tối đa là 15,65 mm. Mẫu bị phá hoại do cắt (hình 7), vết nứt phá hoại xuất hiện đột ngột (phá hoại dòn), hình dạng xiên nổi giữa gối cầu và điểm đặt lực gia tải. Dạng phá hoại này là phù hợp khi mẫu bản thường không có cốt thép đai (Hình 2).

Mẫu UHPC-0-30 mô phỏng việc thực tế khi sửa chữa sẽ cào bóc lớp bê tông bảo vệ của kết cấu sau đó đổ lại lớp bê tông UHPC có chiều dày 30 mm. Liên kết giữa 02 vật liệu bê tông chỉ thông qua dính bám giữa 02 lớp. Lực phá hoại của mẫu này thấp hơn mẫu đối chứng đạt 121,22 KN, tương ứng với mô men uốn $M_{u,exp} = 30,91$ kN và độ võng của bản chỉ đạt 11,72 mm. Việc phá hoại dòn, do cắt khá đột ngột khi có sự tách lớp giữa bê tông UHPC và bê tông thường kèm sau đó là sự phá của của mẫu tương tự như mẫu RE (Hình 7)

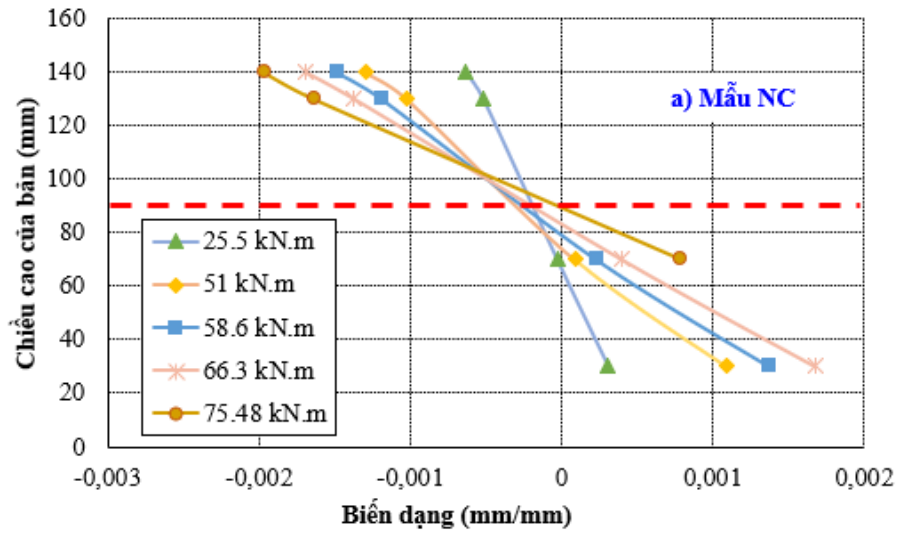
Mẫu UHPC-30 tương tự như mẫu UHPC-0-30 tuy nhiên có bổ sung thêm cốt thép liên kết (neo) giữa BTCT và bê tông UHPC. Sự làm việc chung giữa 02 lớp bê tông làm tăng lực phá hoại giới hạn của mẫu lên $P_u = 195,06$ kN, tương ứng với mô men uốn $M_u = 49,74$ kN.m và độ võng tới hạn đạt 36,47 mm. (Hình 8). Do sự có mặt của lớp UHPC, kết cấu bản liên hợp chuyển từ phá hoại do cắt (mẫu đối chứng) sang phá hoại do uốn (Hình 7) và phá hoại dẻo và kết cấu khai thác tối ưu hơn giai đoạn chảy của cốt thép thường ở vùng chịu kéo. Mô men uốn phá hoại tăng 31,4%; độ võng tới hạn tăng 133%.



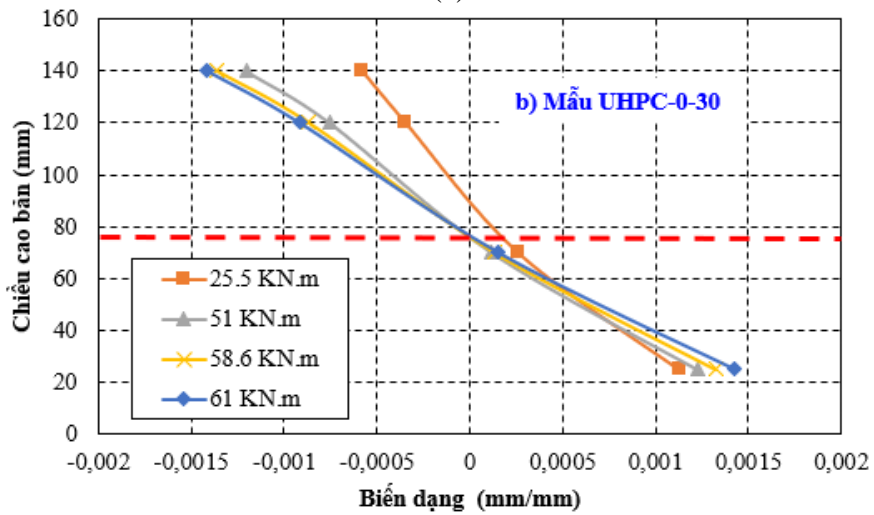
Hình 8. Mối quan hệ giữa mô men uốn và độ võng của dầm ở mặt cắt giữa nhịp đối với các dầm có cùng chiều cao.

3.2. Biến dạng dầm chủ

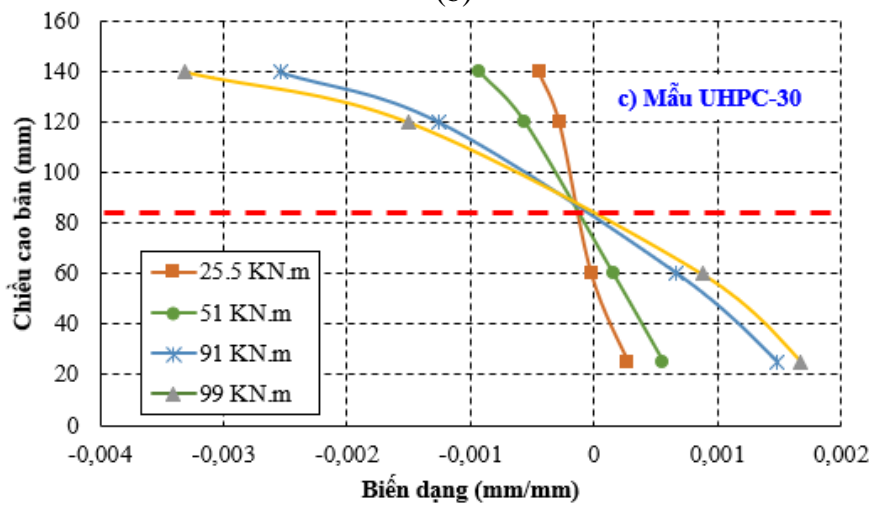
Giá trị biến dạng thu được của 04 cảm biến gắn ở mặt cắt giữa nhịp ở một số giá trị mô men uốn được mô tả trên Hình 9.



(a)



(b)



(c)

Hình 9. Biến dạng tại mặt cắt giữa nhịp dọc theo chiều cao của bản bê tông : a) Mẫ NC ; b) Mẫ UHPC-0-30; c) Mẫ UHPC-30.

Trong cả 03 trường hợp, Hình 9 cho thấy chiều cao vùng chịu nén giảm khi mô men uốn tác dụng lên bản tăng lên. Đối với 02 mẫu NC và mẫu UHPC-0-30, việc phá hoại mẫu do cắt nên vùng bê tông chịu nén chưa đạt biến dạng tối đa. Trong khi đó đối với mẫu UHPC-30 phá hoại do uốn bê tông đạt tới biến dạng 0,0033. Trong trường hợp cả 03 mẫu, trục trung hòa ở mặt cắt giữa nhịp đều tập trung ở vùng bê tông thường (Hình 9). Tuy nhiên, thực tế vết nứt xuất hiện đến lớp bê tông UHPC (Hình 7), sau đó có hiện tượng bong lớp UHPC với lớp BT thường. Như vậy, việc đo biến dạng ở bê tông không còn phù hợp để xác định chính xác vị trí trục trung hòa của mặt cắt ở trạng thái phá hoại.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm khôi phục khả năng chịu lực của bê tông cốt thép thường bằng bê tông siêu tính năng (UHPC) bằng việc xem xét kết quả thực nghiệm trên các mẫu bản cùng kích thước và chiều cao. Kết quả thực nghiệm cho thấy hiệu quả của việc thay thế 30 mm lớp bê tông bảo vệ bằng bê tông UHPC có neo liên kết ở vùng bê tông chịu nén giúp tăng khoảng 31,4% khả năng chịu lực và độ võng tăng 133%. Ngoài ra, lớp UHPC còn giúp cho thay đổi đặc trưng phá hủy của bản BTCT từ phá hoại dòn do cắt sang phá hoại dẻo do uốn. Tuy nhiên, khi không có neo liên kết giữa lớp UHPC và bản BTCT sẽ xuất hiện hiện tượng tách lớp và giảm khả năng chịu lực của kết cấu sau khi thay thế. Nghiên cứu đóng góp thêm 01 giải pháp sửa chữa và tăng cường bản BTCT bằng việc sử dụng một vật liệu mới vừa có khả năng chống thấm, chống xâm thực cao, vừa tăng cường khả năng chịu lực của bản BTCT.

Nghiên cứu tiếp theo tập trung phân tích ứng xử thực nghiệm và mô hình kết cấu bản BTCT được sửa chữa, tăng cường UHPC ở vùng chịu nén và tấm sợi FRP tăng cường ở vùng chịu kéo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Việt Hải, Thực nghiệm và mô phỏng ứng xử chịu kéo của bê tông siêu tính năng, Tạp Chí Khoa Học Giao Thông Vận Tải, 74 (2023) 709-717. <https://doi.org/10.47869/tcsj.74.6.1>
- [2]. B. Graybeal, Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete, FHWA-HRT-06-103, (2006) 1-176
- [3]. T. K. Tran, D.J. Kim, Effects of blending fibers on tensile resistance of ultra high performance fiber reinforced concrete under impact, Journal of Technical Education Science, 35A (2016) 43-50. <https://jte.edu.vn/index.php/jte/article/view/604>
- [4]. E. Brühwiler, UHPFRC technology to enhance the performance of existing concrete bridges, Structure and Infrastructure Engineering, 16 (2020) 94-105. <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1605395>
- [5]. Lê Bá Danh, Ngô Quý Tuấn., Phạm Duy Hòa, Khúc Đăng Tùng, Nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số ứng xử nén của mẫu bê tông chất lượng siêu cao sử dụng thành phần cốt liệu ở Việt Nam, Tạp chí Khoa học Công Nghệ Xây Dựng (TCKHCNXD)-ĐHXDHN, 16 (2022) 11-23. [https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(5V\)-01](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(5V)-01)
- [6]. Nguyễn Ngọc Long, Phạm Tuấn Dũng, Ngô Văn Minh, Hồ Vĩnh Hạ, Tăng cường khả năng kháng cắt của dầm cầu thép sử dụng bê tông siêu tính năng: đề xuất giải pháp và kết quả phân tích số, Tạp Chí Khoa Học Giao Thông Vận Tải, 74 (2023) 557-569. <https://doi.org/10.47869/tcsj.74.5.1>
- [7]. Cù Việt Hưng, Nguyễn Đức Phúc, Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Ngọc Tuyền, Phạm Duy Hòa, Dự báo sức kháng uốn của dầm bê tông chất lượng siêu cao (UHPC), Tạp chí Khoa học Công Nghệ Xây Dựng, 12 (2018) 1-13. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(4\)-01](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(4)-01)

- [8]. Ngô Quý Tuấn, Phạm Duy Hòa, Nguyễn Bình Hà, Lê Bá Danh, Khúc Đăng Tùng, Nghiên cứu đánh giá sức kháng uốn của bê tông chất lượng siêu cao: thực nghiệm và mô hình số, Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng, 16 (2022) 1-13. [https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(2V\)-01](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(2V)-01)
- [9]. Yin, H., Teo, W., and Shirai, K., Experimental investigation on the behaviour of reinforced concrete slabs strengthened with ultra-high performance concrete, Construction and Building Materials, 155 (2017) 463-474. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.077>
- [10]. M.A. Al-Osta et al., Flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened with ultra-high performance fiber reinforced concrete, Construction and Building Materials, 134 (2017) 279-296. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.094>
- [11]. M.M.A. Kadhim, A. Jawdhari, W. Nadir and L.S. Cunningham, Behaviour of RC beams strengthened in flexure with hybrid CFRP-reinforced UHPC overlays, Engineering Structures, 262 (2022) 114356. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114356>
- [12]. M.A. El-Mandouh, G. Elsamak, B. O. Rageh, A. Hamoda, and F. Abdelazeem, Experimental and numerical investigation of one-way reinforced concrete slabs using various strengthening systems, Case Studies in Construction Materials, 18 (2023) e01691. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01691>