

JTST - JOURNAL OF TRANSPORTATION SCIENCE & TECHNOLOGY

MANUSCRIPT ID: JIST-2022-0020

MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA TẮM GIA CƯỜNG COMPOSITE SỢI CARBON (CFRP) ĐẾN KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN SỬ DỤNG PHẦN MỀM ANSYS APDL

Manuscript ID	JIST-2022-0020
Full title	Mô Phỏng Ảnh Hưởng Của Tẩm Gia Cường Composite Sợi Carbon (CFRP) Đến Khả Năng Chịu Lực Của Dầm Bê Tông Cốt Thép Bằng Phương Pháp Phần Tử Hữu Hạn Sử Dụng Phần Mềm ANSYS APDL
Summary	<p>Những năm gần đây, nhu cầu tăng cường khả năng chịu lực của công trình xây dựng ngày càng trở nên phổ biến. Nguyên nhân do sự xuống cấp của các công trình theo thời gian; hoặc do chủ đầu tư yêu cầu. Một phương pháp phổ biến là dùng vật liệu composite sợi carbon (CFRP) dán, gia cường vùng chịu kéo của kết cấu. Phương pháp thi công này nhanh và đơn giản nhưng các chỉ dẫn kỹ thuật thi công ở nước ta còn hạn chế, do quá trình khảo sát, thí nghiệm tốn thời gian và kinh phí. Nghiên cứu này trình bày một phương pháp nghiên cứu mô phỏng phần tử hữu hạn khả năng chịu lực của kết cấu dầm BTCT được gia cường bằng CFRP (sử dụng phần mềm ANSYS APDL) và đối sánh với thực nghiệm. Kết quả cho thấy ANSYS APDL có thể phân tích sự làm việc của dầm BTCT gia cường uốn bằng tấm CFRP với độ tin cậy cao. Kết quả có thể được mở rộng để phân tích đầy đủ về ứng suất, biến dạng, khảo sát nhiều yếu tố hơn cho các bài toán tương tự.</p>
Research Topic	Kỹ thuật xây dựng
Keywords	Gia cường kết cấu; composite sợi carbon (CFRP); mô phỏng số; ANSYS APDL; dầm bê tông cốt thép (BTCT)
Authors	<ul style="list-style-type: none">- Hiếu Nguyễn Trung, Email: , School: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .- Long Nguyễn Phi, Email: long.nguyen@ut.edu.vn , School: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .- Thủy Nguyễn Tiến, Email: , School: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .- Gianh Phạm Ngọc, Email: , School: Trường Đại học Giao thông vận tải

Mô phỏng ảnh hưởng của tấm gia cường composite sợi carbon (CFRP) đến khả năng chịu lực của dầm bê tông cốt thép bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm ANSYS APDL

Simulation analysis of the influence of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) on the load bearing capacity of reinforced concrete beams by finite element method using ANSYS APDL software

Nguyễn Trung Hiếu, Nguyễn Phi Long*, Nguyễn Tiến Thủy, Phạm Ngọc Gianh

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

*Email liên hệ: long.nguyen@ut.edu.vn

Tóm tắt:

Những năm gần đây, nhu cầu tăng cường khả năng chịu lực của công trình xây dựng ngày càng trở nên phổ biến. Nguyên nhân do sự xuống cấp của các công trình theo thời gian; hoặc do chủ đầu tư yêu cầu. Một phương pháp phổ biến là dùng vật liệu composite sợi carbon (CFRP) dán, gia cường vùng chịu kéo của kết cấu. Phương pháp thi công này nhanh và đơn giản nhưng các chỉ dẫn kỹ thuật thi công ở nước ta còn hạn chế, do quá trình khảo sát, thí nghiệm tốn thời gian và kinh phí. Nghiên cứu này trình bày một phương pháp nghiên cứu mô phỏng phần tử hữu hạn khả năng chịu lực của kết cấu dầm BTCT được gia cường bằng CFRP (sử dụng phần mềm ANSYS APDL) và đối sánh với thực nghiệm. Kết quả cho thấy ANSYS APDL có thể phân tích sự làm việc của dầm BTCT gia cường uốn bằng tấm CFRP với độ tin cậy cao. Kết quả có thể được mở rộng để phân tích đầy đủ về ứng suất, biến dạng, khảo sát nhiều yếu tố hơn cho các bài toán tương tự.

Từ khóa: Gia cường kết cấu, composite sợi carbon (CFRP), mô phỏng số, ANSYS APDL, dầm bê tông cốt thép (BTCT).

Abstract:

In recent years, the need to upgrade and increase the load bearing capacity of concrete structures has become popular due to the deterioration of constructions after long use; or due to the demand of owners. One among popular reinforcement methods today is to use Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) to strengthen the tensile zone of the concrete structure. The installation of this method is rapid and convenient. However, the technical instructions for installation is still limited in Vietnam due to the time-consuming and high cost of experiments. This research presents a numerical simulation study on the load bearing capacity of reinforced concrete beams strengthened with CFRP via the finite element method (using ANSYS APDL software) and compares the findings with experimental result afterwardss. The results show that ANSYS APDL software can accurately analyze the mechanical behavior of RC beams strengthened with CFRP. The research results can be expand to further analyze stress, deformation, and simultaneously investigate other factors that may influence RC beams strengthened with CFRP.

Keywords: retrofitting structures, carbon fiber reinforced polymer (CFRP), numerical modeling, ANSYS APPDL, reinforced concrete beam.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, với quá trình công nghiệp hóa và hiện đại hóa đất nước, rất nhiều công trình xây dựng được mọc lên nhằm đáp ứng nhu cầu phát triển nhanh chóng của nước nhà. Bên cạnh các công trình xây mới, rất nhiều công trình hiện hữu, sau quá trình sử dụng và cải tạo đã dần xuống cấp, đặc biệt là các công trình xây dựng sử dụng kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) như: Chung cư cao tầng, các kết cấu dầm/trụ cầu, cầu kiện cột,... thuộc các công trình giao thông. Sau một thời gian sử dụng, các công trình tiếp xúc thường xuyên với các yếu tố nhiệt độ, độ ẩm của thời tiết, các tác động ngắn hạn và dài hạn của các nguyên nhân cơ học như tĩnh tải, hoạt tải, tải trọng động, tải trọng gió/động đất, các kết cấu thường xuất hiện các vết nứt, rỗ bề mặt, bê tông bị bào mòn, cốt thép bị xâm thực, xuất hiện các hiện tượng nhũ vôi, lão hóa, hoặc hư hỏng ở các bộ phận nối tiếp giữa các kết cấu do cấu tạo trong quá trình thi công. Một số nguyên nhân chủ quan khác gây ra vết nứt và hư hỏng không kể đến ảnh hưởng của co ngót, từ biến, hay phân tích chưa đầy đủ trong quá trình thiết kế dẫn đến kết cấu thiết kế không đảm bảo yêu cầu sử dụng, cường độ chịu kéo kém của bê tông hoặc do chất lượng thi công kém, thậm chí là thay đổi thiết kế do thay đổi nhu cầu của chủ đầu tư... Hậu quả là xuất hiện các vết nứt, sự xâm thực làm suy giảm khả năng chịu lực của công trình, dẫn đến làm ảnh hưởng, không đảm bảo về mức độ an toàn và quá trình khai thác, vận hành của công trình trong giai đoạn trung và dài hạn. Để tiếp tục tận dụng và khai thác các công trình trên với chi phí và thời gian tiết kiệm, việc gia cường, nâng cấp, sửa chữa công trình các kết cấu bê tông cốt thép trên là một yêu cầu cấp thiết trong xây dựng.

Thực tế cho thấy, có nhiều phương pháp gia cường kết cấu bê tông cốt thép trong xây dựng

dân dụng và công nghiệp tăng cường khả năng chịu lực của kết cấu về mặt cơ học so với thực tế hiện trạng. Phương pháp gia cường phổ biến là phương pháp ốp hay dán các bản thép vào vùng chịu kéo của kết cấu. Về cơ bản, nguyên lý tính toán và gia cường bằng phương pháp để tăng cường khả năng chịu lực ở vùng chịu kéo của cầu kiện được gia cường. Và, do đặc thù về kích thước bản thép mỏng nên phương pháp này mang lại hiệu quả cao về kiến trúc vì không làm gia tăng kích thước cầu kiện. Với các đặc tính cấu tạo, vật liệu và cơ học phù hợp nên vật liệu composite được cấu thành từ việc thẩm thấu, đùn ép chất nhựa nền polymer vào giữa các sợi có cường độ chịu kéo cao như sợi thủy tinh, sợi carbon, sợi aramid và thậm chí một số sợi tự nhiên như sợi lanh được sử dụng phổ biến để làm tấm gia cường (CFRP, GFRP, AFRP).



Hình 1. Cấu tạo vật liệu composite gia cường.

Mặc dù phương pháp gia cường kết cấu bê tông cốt thép bằng cách dán lớp vật liệu có cường độ cao như bản thép đã được ứng dụng ở Việt Nam cho nhiều công trình cầu và một vài công trình nhà, nhưng các nghiên cứu về phương pháp dán bản thép (và gần đây là dán tấm vật liệu composite) mới chỉ dừng ở mức độ hạn chế. Các tài liệu đã được công bố chủ yếu mang tính chất giới thiệu và cung cấp thông tin kết quả nghiên cứu của nước ngoài [1], [2]. Nguyễn Việt Hùng và Lưu Quang Thìn đã trình bày mô hình tính toán phần tử hữu hạn cho kết cấu bê tông cốt thép được gia cường bằng dán bản thép, tuy nhiên mới chỉ dừng ở việc phân tích tuyến tính nên không phản ánh sát được sự làm việc của kết cấu gia cường [3]. Mới đây nhất, trong

khuôn khổ đề tài nghiên cứu về giải pháp gia cường kết cấu BTCT công trình thủy lợi bằng cách dán vật liệu composite, Nguyễn Chí Thanh đã thực hiện một chương trình khảo sát và thí nghiệm kết cấu nhằm xác định các ứng xử cơ bản của hệ thống gia cường và sơ bộ định lượng khả năng nâng cao sức chịu tải của kết cấu [4]. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng lớp vật liệu cốt sợi cường độ cao có thể nâng cao đáng kể sức chịu tải của kết cấu, tùy thuộc vào mức độ gia cường, sức kháng uốn của kết cấu dạng dầm, bản BTCT sau khi gia cường có thể lớn gấp hai đến ba lần so với ban đầu.

Trên thế giới hiện nay cũng đã có nhiều nghiên cứu thực nghiệm về dầm BTCT gia cường bằng CFRP [5]. Đặc điểm của liên kết và gia cường được phân tích khá đầy đủ và tổng hợp bởi Kang và các đồng sự [6]. Các nghiên cứu này cũng đã được chuẩn hoá theo các tiêu chuẩn của Mỹ, Nhật bản và Canada [7]. Tuy nhiên, việc triển khai để phân tích một cách hệ thống các mô hình tính toán còn rất nhiều hạn chế do việc thực hiện hàng loạt các thí nghiệm đòi hỏi chi phí cao và tốn thời gian. Do đó trong nghiên cứu này, các tác giả muốn giới thiệu một phương pháp phân tích mô phỏng có kiểm chứng bằng thực nghiệm để làm cơ sở cho việc nghiên cứu một cách hệ thống các tính chất của

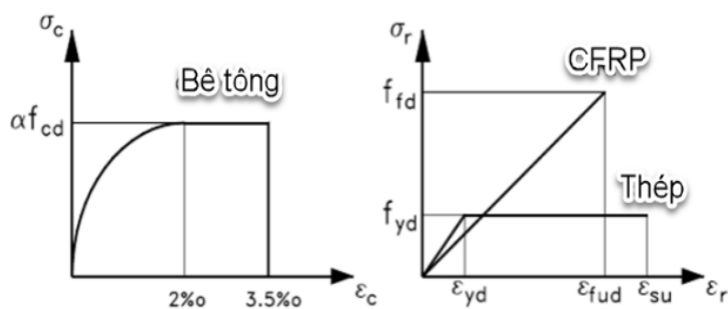
kết cấu BTCT được gia cường bằng vật liệu composite, đặc biệt có thể ứng dụng tại Việt Nam trong những năm tới đây.

2. Phương pháp gia cường kết cấu bê tông cốt thép bằng vật liệu composite cốt sợi cường độ cao

2.1. Cơ sở lý thuyết về việc gia cường bằng CFRP

Các kết cấu bê tông cốt thép, chẳng hạn như dầm và cột, có thể được tăng cường uốn cong thông qua việc sử dụng vật liệu tổng hợp CFRP được liên kết epoxy với vùng căng của chúng, theo hướng các sợi song song với các ứng suất kéo cao (trục kết cấu). Việc gia cường tấm CFRP ở vùng chịu kéo của cấu kiện thì nguyên lý tính toán giống như việc tăng cường tấm thép dán bên ngoài cho cấu kiện. Nhằm tăng khả năng chịu lực cho vùng bê tông chịu kéo được gia cường dẫn đến làm tăng khả năng chịu lực cho vùng chịu kéo và toàn bộ cấu kiện. Tuy nhiên, điểm khác biệt cơ bản khi gia cường giữa tấm CFRP và tấm thép là tấm CFRP chỉ làm việc theo vật liệu đàn hồi tuyến tính trong khi tấm thép làm việc đàn hồi - dẻo.

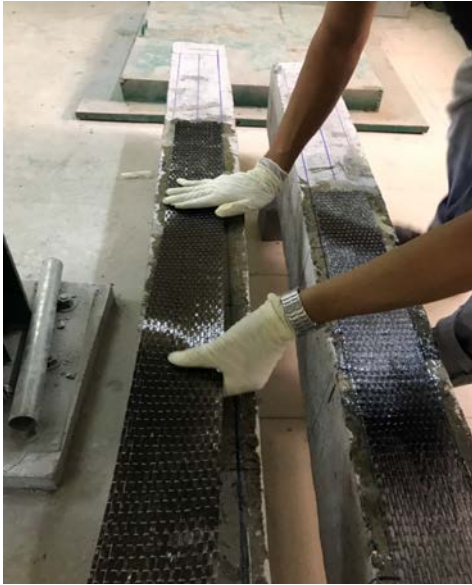
Quan điểm ứng suất biến dạng cong lý tưởng cho bê tông, CFRP và thép được trình bày như sau:



Hình 2. Đường cong ứng suất biến dạng cho bê tông, CFRP và thép.

Việc phân tích trạng thái giới hạn cực hạn chịu uốn cho các kết cấu thường tuân theo các quy trình phân tích truyền thống được thiết lập cho kết cấu bê tông cốt thép, với điều kiện: (1) sự tham gia của composite dán ngoài được đưa vào phép toán một cách phù hợp; và (2) thận trọng

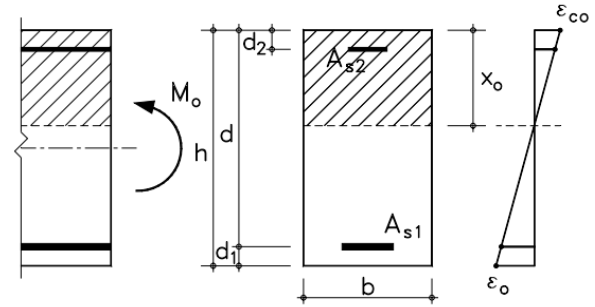
đánh giá chính xác về liên kết giữa bê tông và composite. Trong nghiên cứu này, tập trung phân tích về cơ sở tính toán cho các cấu kiện BTCT được gia cường uốn với tấm composite dán ngoài.



Hình 3. Dán miếng gia cường CFRP cho dầm bê tông cốt thép.

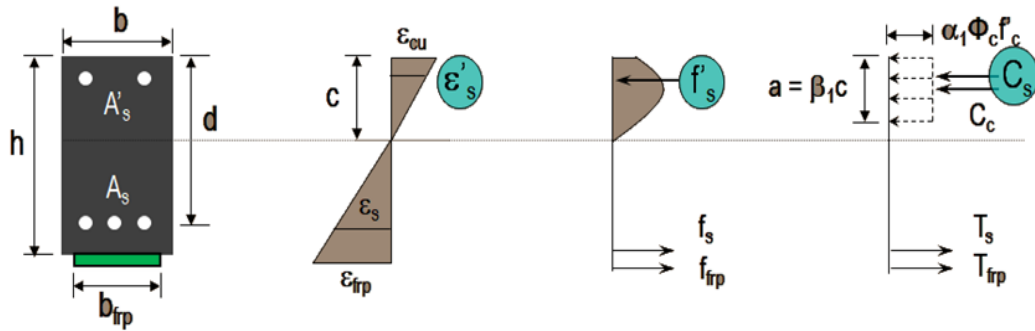
2.2. Khả năng chịu lực của dầm không và có gia cường CFRP

Khi dầm bê tông cốt thép CFRP chịu tải trọng thì dầm sẽ làm việc như cấu kiện chịu uốn. Ở vùng chịu nén, có sự tham gia chịu lực của bê tông và cốt thép, ở vùng chịu kéo, cốt thép tham gia chịu lực khi dầm chưa được gia cường, còn khi gia cường thì có sự tham gia chịu lực của tấm CFRP. Dựa trên lý thuyết đàn hồi và tác động của moment uốn M_o tiêu chuẩn (không kể đến hệ số vượt tải) tác động lên phần tiết diện nguy hiểm của kết cấu BTCT, ta có thể phân tích được phân phối biến dạng trên tiết diện nguy hiểm của cấu kiện trên. Nếu ngoại lực M_o tác dụng lớn hơn moment kháng nứt M_{cr} thì dẫn đến cấu kiện dầm bị nứt, phải xét đến ảnh hưởng của vết nứt tại vị trí tiết diện nguy hiểm. Nếu M_o nhỏ hơn M_{cr} , có thể bỏ qua ảnh hưởng của vết nứt đến sự làm việc tại tiết diện nguy hiểm nhất ở vùng chịu kéo của cấu kiện.



Hình 4. Biểu đồ ứng suất của dầm bê tông cốt thép khi chịu lực.

Dầm BTCT chưa được gia cường CFRP, nguyên tắc thiết kế truyền thống cho dầm bị phá hoại ở vùng chịu kéo (cốt thép) để quan sát được biến dạng và tránh phá hoại ở vùng bê tông (phá hoại dòn). Khi dầm bê tông cốt thép được gia cường tấm CFRP ở vùng chịu kéo, ta thấy được sự làm việc như sau: Đầu tiên, khi tải trọng còn nhỏ thì cả bê tông, cốt thép và tấm CFRP làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Khi tải trọng tăng dần đến lúc phá hoại, cốt thép ở vùng chịu kéo nếu được tính toán với hàm lượng nhỏ sẽ bị chảy dẻo trước do cường độ chịu kéo đạt đến giới hạn chảy rồi tiếp đến phá hoại ở vùng bê tông chịu nén do tấm CFRP chịu tải trọng và biến dạng lớn hơn cốt thép nên lúc này, CFRP vẫn nguyên vẹn. Sau đó, biến dạng trong cốt thép ở vùng chịu kéo tăng dần dẫn đến biến dạng trong tấm gia cường đạt đến giới hạn làm cho CFRP bị kéo đứt. Ngược lại, khi hàm lượng cốt thép ở vùng chịu kéo tương đối cao, thì bê tông ở vùng chịu nén sẽ đạt tới giới hạn trước. Đây là phá hoại dòn, đột ngột và thường tránh trong thiết kế kết cấu. Trường hợp này, vật liệu composite thường không có tác dụng, và cũng có nghĩa là kết cấu BTCT cần được tăng cường về khả năng chịu nén của bê tông.



Hình 5. Biểu đồ ứng suất của dầm BTCT khi gia cường CFRP.

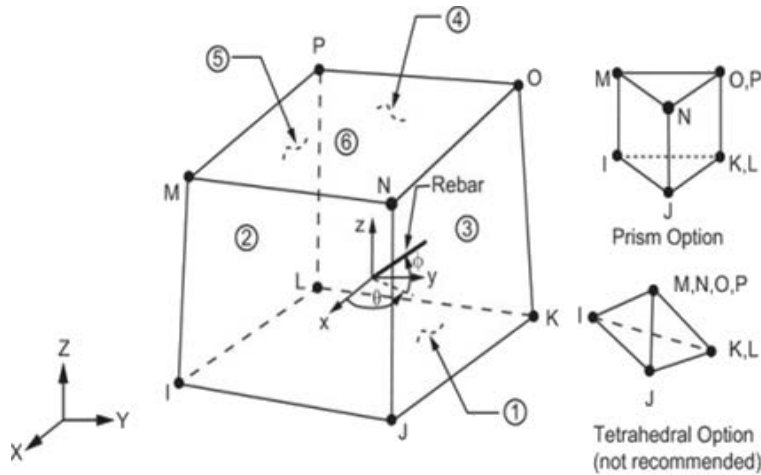
2.3. Mô phỏng dầm BTCT gia cường tấm CFRP bằng phần mềm ANSYS

2.3.1. Phần mềm ANSYS

ANSYS là phần mềm mô hình phần tử hữu hạn đa trường, thường được dùng để giải quyết nhiều bài toán bao gồm phân tích cấu trúc tĩnh và động (cả tuyến tính và phi tuyến), các vấn đề truyền nhiệt và chất lỏng, cũng như các vấn đề về từ trường và điện [8], [9]. Việc tăng cường bên ngoài của dầm bê tông cốt thép bằng polyme cốt sợi carbon (CFRP) đã được phân tích bằng các mô hình phần tử hữu hạn trong ANSYS qua nhiều nghiên cứu trong nước và trên thế giới.

Trong nghiên cứu này, phần tử solid 65 được sử dụng cho kết cấu dầm bê tông, Shell 181 được dùng cho tấm gia cường CFRP, phần tử link 180 được sử dụng cho thép dọc và thép đai trong dầm.

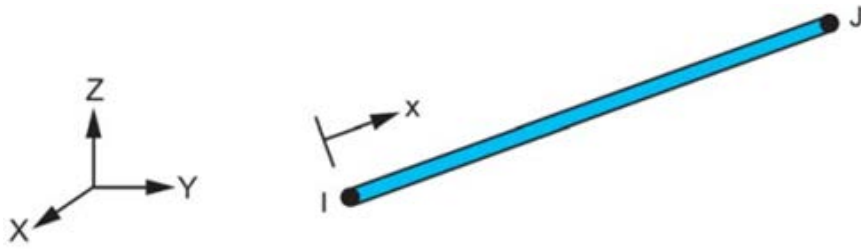
Phần tử solid 65 dùng để mô hình hóa kết cấu đặc ba chiều. Phần tử được xác định bởi 08 nút, mỗi nút có ba bậc tự do là chuyển vị tại nút theo các hướng trục x, y, z. Vật liệu mang tính chất trục hướng và hướng đặc tính vật liệu trùng với hướng trục tọa độ phần tử. Phần tử có tính chất dẻo, từ biến, giãn nở, ứng suất cứng hóa, biến hình lớn và biến dạng lớn.



Hình 6. Phần tử solid 65.

Phần tử Link 180 dùng để mô hình hóa kết cấu thanh thép dọc và thép đai cho dầm. Phần tử có thể được sử dụng để tạo mô hình giàn, dây cáp

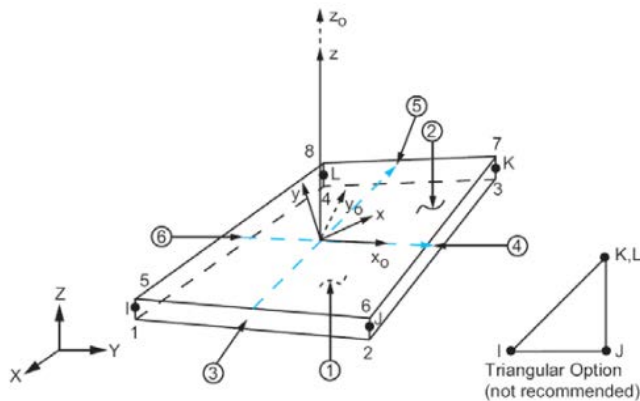
võng, liên kết, lò xo,... Phần tử này là phần tử nén kéo dọc trục với ba bậc tự do tại mỗi nút và cho phép tịnh tiến theo các hướng nút x, y và z.



Hình 7. Phần tử link 180.

Phần tử Shell 181 là một phần tử bốn nút với sáu bậc tự do tại mỗi nút, cho phép chuyển vị tại các nút theo hướng x, y và z và quay theo trục x, y và z.

SHELL181 rất phù hợp với bài toán tuyến tính và biến dạng lớn trong bài toán phi tuyến.



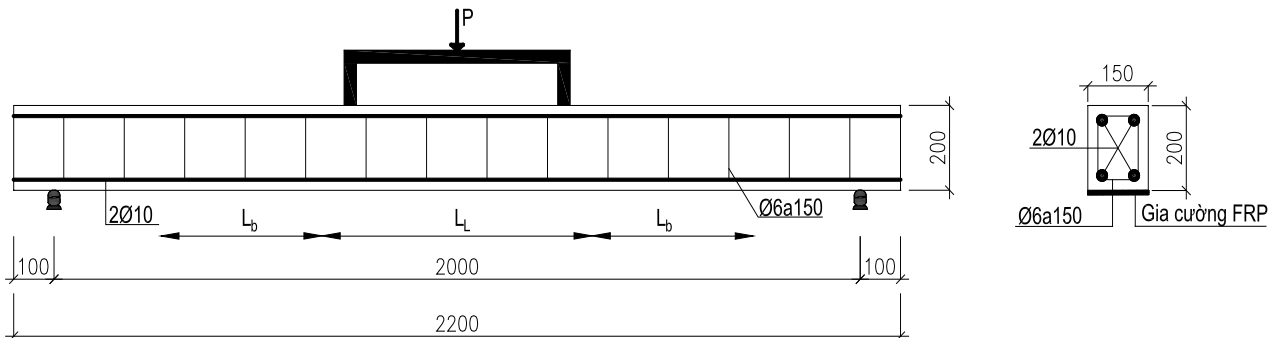
Hình 8. Phần tử Shell 181.

2.3.2. Kích thước dầm mô phỏng

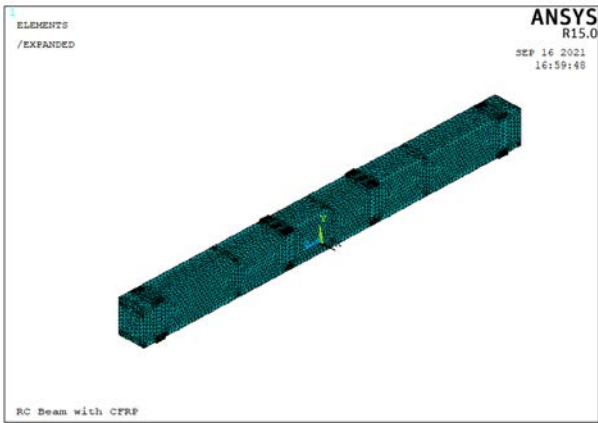
Dầm được mô phỏng có chiều dài dầm tính toán là $L = 2200$ mm, bề rộng tiết diện của dầm là $b = 150$ mm và chiều cao tiết diện của dầm là $h = 200$ mm. Trong dầm bố trí 04 cây thép đường kính $d = 10$ mm chạy dọc chiều dài dầm và thép

đai với đường kính $d = 6$ mm được bố trí chạy dọc dầm với khoảng cách 150mm đều nhau.

Nhóm nghiên cứu phân tích 03 trường hợp dầm BTCT không gia cường, gia cường tấm CFRP dài 150 mm và 300 mm, cùng bề rộng là 100 mm.



Hình 9. Thông số kích thước dầm BTCT được gia cường CFRP, mm.



Hình 10. Dầm bê tông cốt thép được mô phỏng trong ANSYS APDL.

2.4. Thông số vật liệu

Các thông số vật liệu được tham khảo trong các nghiên cứu trước đây [10], [11].

Vật liệu bê tông được mô phỏng với cấp độ bền chịu nén B20. Thép chịu lực dọc có cường độ tính toán 365 MPa, modul đàn hồi 200GPa. Và, loại vải sợi carbon được sử dụng có trọng lượng 200g/m². Cường độ chịu kéo là 3400 MPa, Modul chịu kéo là 230 GPa. Tấm vải sợi carbon được dán vào vùng chịu kéo của dầm bằng chất kết dính epoxy với cường độ chịu kéo 30MPa, cường độ chịu uốn 40 MPa.

Bảng 1. Đặc trưng vật liệu thép

Loại phần tử	Thông số vật liệu	
Link 180	EX	200000 (MPa)
	PRXY	0.3

Bảng 2. Đặc trưng vật liệu bê tông.

Loại phần tử	Thông số vật liệu		
	Tuyến tính đẳng hướng		
Solid 65	EX	2400 MPa	
	PRXY	0.25	
Đa tuyến đẳng hướng			
	Điểm	Lực	Áp lực (MPa)
	1	0	0
	2	0.000344	8.26
	3	0.000444	10.28
	4	0.000544	12.37
	5	0.000644	14.33
	6	0.000744	16.16
	7	0.000844	17.85
	8	0.000944	19.38
	9	0.001044	20.76
	10	0.001144	21.99
	11	0.001244	23.08
	12	0.001344	24.02
	13	0.001444	24.83
	14	0.001544	25.51

Loại phần tử	Thông số vật liệu		
	15	0.001644	26.08
	16	0.001744	26.53
	17	0.001844	26.89
	18	0.001944	27.17
	19	0.002044	27.36
	20	0.002144	27.48
	21	0.002244	27.53
	22	0.002295	27.54

Bảng 3. Đặc trưng vật liệu CFRP

Loại phần tử	Thông số vật liệu	
	EX	285000 MPa
	EY	22800 MPa
	EZ	22800 MPa
	PRXY	0.3
Shell 181	PRYZ	0.45
	PRZX	0.3
	GXY	13570 MPa
	GYZ	7860 MPa
	GZX	13570 MPa

3. Kết quả và phân tích

3.1. Tổng hợp các trường hợp nghiên cứu

Nhóm thực hiện mô hình và phân tích kết quả với hai bài toán như sau:

Bài toán số 1: Dầm bê tông cốt thép không gia cường CFRP.

Bài toán số 2: Dầm bê tông cốt thép được gia cường tấm CFRP với chiều dài $L_b = 150$ mm và bề rộng $B_b = 100$ mm.

3.2. Kết quả phân tích bài toán

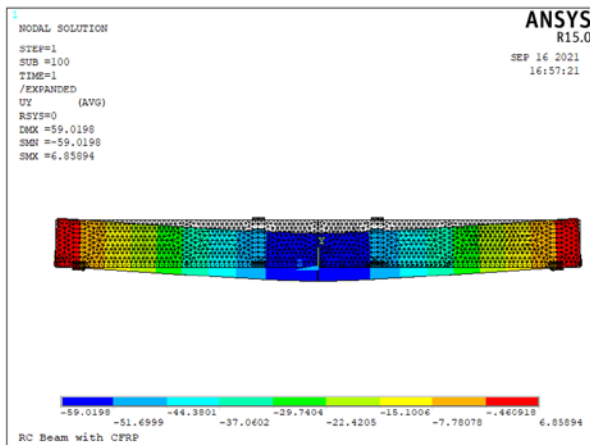
Nhóm tiến hành so sánh kết quả mô phỏng với thí nghiệm thực tế tại phòng thí nghiệm Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh với cùng các thông số về dầm bê tông cốt thép cho cả hai bài toán phân tích.



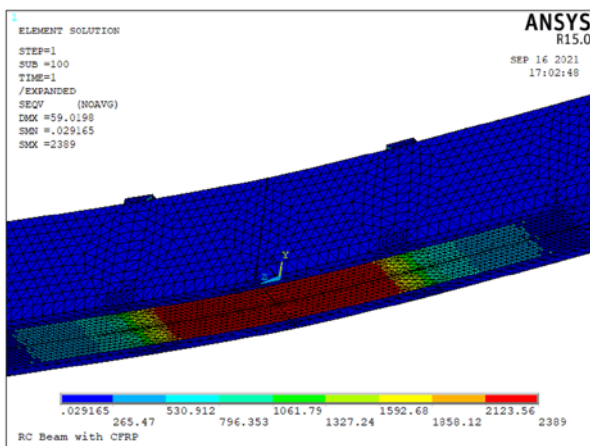
Hình 11. Hình ảnh đo chuyển vị dầm bê tông cốt thép khi chịu tải trọng tại phòng thí nghiệm.

Trình tự thí nghiệm: Lắp đặt dầm và các thiết bị thí nghiệm theo đúng sơ đồ thí nghiệm, sau đó tiến hành gia tải bằng máy kích thủy lực theo từng chu kỳ cho đến khi bị phá hoại hoàn toàn. Trước khi vết nứt xuất hiện, giá trị cấp tải vào khoảng 1 – 5 kN.

Trong mỗi chu kỳ sau đó, giá trị cấp tải sẽ được điều chỉnh tăng dần đều lên cho tới khi dầm bị phá hủy để vẽ đường cong thể hiện mối quan hệ giữa chuyển vị tại điểm chính giữa dầm, và tại biên dầm cách gối tựa 40 cm với tải trọng P tương ứng cho dầm bê tông cốt thép. Phần mô phỏng trong ANSYS được thực hiện tương tự với thí nghiệm về các thông số vật liệu và tải trọng để so sánh, đánh giá, và phân tích các kết quả.



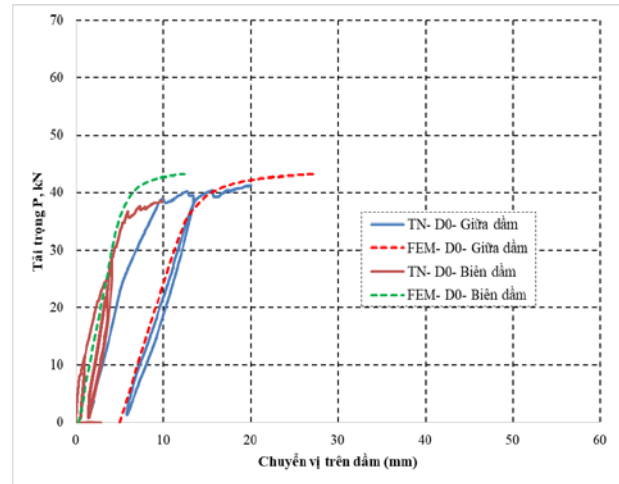
Hình 12. Kết quả chuyển vị của dầm BTCT trong mô phỏng ANSYS APDL.



Hình 13. Kết quả ứng suất của dầm BTCT trong mô phỏng ANSYS APDL.

3.2.1. Bài toán số 1

Kết quả so sánh giữa chuyển vị và tải trọng tác dụng cho vị trí giữa và biên dầm, giữa mô phỏng trong ANSYS và thí nghiệm cho trường hợp dầm không được gia cường.



Hình 14. So sánh giữa mô phỏng và thí nghiệm cho trường hợp dầm BTCT không gia cường CFRP.

Kết quả giữa phần mô phỏng và thí nghiệm về đường cong quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị tại vị trí biên và vị trí giữa dầm là chính xác với ít sự chênh lệch. Cụ thể, tại vị trí biên, khi dầm bê tông làm việc trong miền đàn hồi, tải trọng tăng từ 0 kN đến 36 kN đường cong quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị của thí nghiệm và mô phỏng trùng khớp nhau. Khi dầm bê tông cốt thép bắt đầu xuất hiện vết nứt ở vùng bê tông chịu kéo, dầm bê tông bắt đầu làm việc trong miền dẻo thì kết quả phần mô phỏng và thí nghiệm bắt đầu có sự chênh lệch nhưng không đáng kể. Tuy nhiên, khi cốt thép bắt đầu chảy dẻo, kết quả giữa phần mô phỏng và thí nghiệm có sự chênh lệch rõ rệt. Nguyên nhân của sự chênh lệch trên là do trong mô phỏng ANSYS nhóm chưa kể đến sự làm việc của miền dẻo cốt thép và ảnh hưởng của vết nứt trong bê tông. Tương tự, vị trí giữa dầm, phần thí nghiệm và mô phỏng trùng khớp nhau ở giai đoạn dầm bê tông cốt thép làm việc đàn hồi và bắt đầu chuyển qua giai đoạn dẻo, tải từ 0 kN đến 40 kN, sau đó khi có cốt thép ở vùng chịu kéo bị chảy dẻo, hình dạng đường cong quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị trong mô phỏng với thí nghiệm có sự chênh lệch.

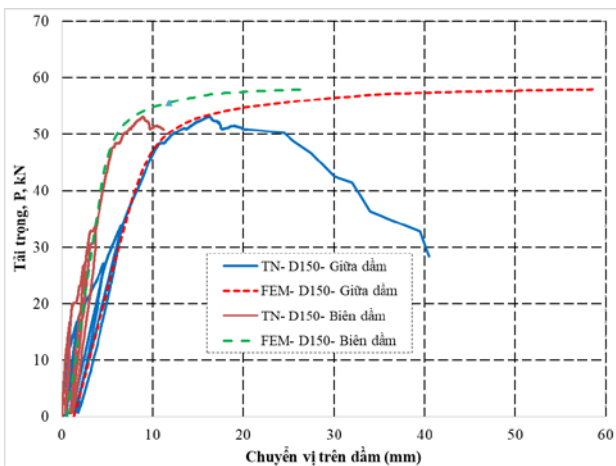
Qua sự so sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm, phần mềm ANSYS mô phỏng thành công với điều kiện làm việc thực tế của dầm tại

phòng thí nghiệm trong giai đoạn đàn hồi và một phần giai đoạn dẻo. Nên, có thể tối ưu hóa bài toán với nhiều mẫu thử trong mô phỏng mà không cần phải thí nghiệm dầm bê tông cốt thép thực tế vì đã cho kết quả rất đáng tin cậy.

Tương tự, nhóm nghiên cứu cũng tiến hành mô phỏng dầm bê tông cốt thép được gia cường tấm CFRP dài 150 mm. Sau đó, so sánh kết quả phần mô phỏng và thí nghiệm. Tuy nhiên, điểm khác biệt với bài toán dầm không gia cường CFRP, nhóm có mô phỏng thêm tấm gia cường CFRP được dán bên dưới dầm bằng phần tử Shell 180, với chiều dài 150 mm. Tiến hành tăng tải trọng P cho tới khi dầm bị phá hủy để vẽ đường cong thể hiện mối quan hệ giữa chuyển vị tại điểm chính giữa dầm và tại biên dầm cách gối tựa 40 cm với tải trọng P tương ứng cho các trường hợp dầm bê tông cốt thép được gia cường CFRP.

3.2.2. Bài toán số 2

Kết quả so sánh giữa chuyển vị và tải trọng tác dụng cho vị trí giữa và biên dầm, giữa mô phỏng trong ANSYS và thí nghiệm cho trường hợp dầm được gia cường CFRP dài 150 mm.



Hình 15. So sánh giữa mô phỏng và thí nghiệm cho trường hợp dầm BTCT gia cường CFRP dài 150 mm.

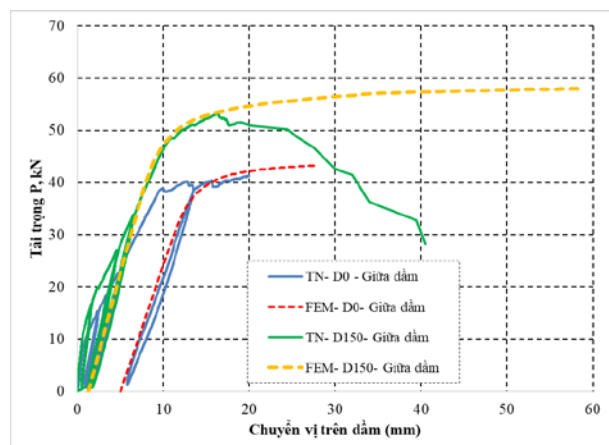
Khi dầm bê tông cốt thép được gia cường CFRP dài 150 mm dưới đáy dầm. Kết quả giữa phần mô phỏng và thí nghiệm về đường cong quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị tại vị trí biên và vị trí

chính giữa giống nhau cả giai đoạn đàn hồi và một phần ở giai đoạn dẻo. Cụ thể, tại vị trí biên dầm, khi tải tăng từ 0 kN đến 50 kN, chuyển vị khoảng 6 mm cho cả thực nghiệm và mô phỏng. Khi dầm bắt đầu nứt, thì có sự sai khác giữa mô phỏng và thí nghiệm.

Tại vị trí giữa dầm, khi tải tăng từ 0 kN đến 50 kN, thì chuyển vị khoảng 11 mm cho cả thực nghiệm và mô phỏng. Và, một phần giai đoạn dẻo, khi chuyển vị khoảng 16 mm, thì kết quả giữa mô phỏng và thực nghiệm vẫn rất khớp với nhau. Nhóm đã mô phỏng thành công sự làm việc chung giữa tấm gia cường CFRP với dầm bê tông cốt thép nên có thể tối ưu mô phỏng nhiều loại dầm khác nhau với các tấm gia cường CFRP có chiều dài khác nhau để phân tích và đánh giá mà không cần phải thí nghiệm dầm tại phòng thí nghiệm nhằm giúp giảm rất nhiều chi phí cũng như sẽ có nhiều số liệu phân tích đánh giá về các trường hợp dầm bê tông cốt thép được gia cường CFRP.

3.3. Phân tích bài toán

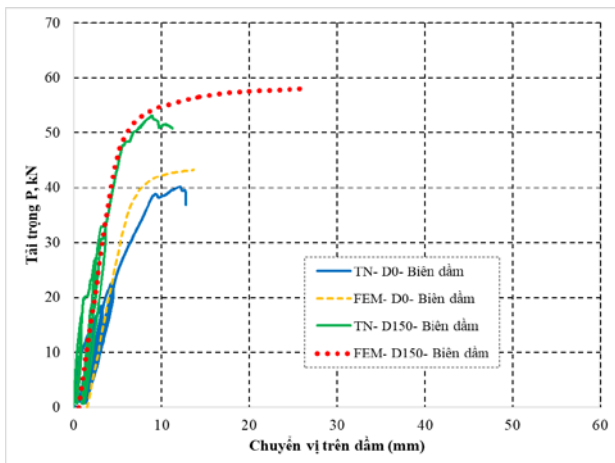
Khi dầm không được gia cường CRFP thì khả năng chịu lực và chuyển vị sẽ nhỏ hơn dầm được gia cường CFRP. Chiều dài CFRP ảnh hưởng đến khả năng chịu lực và chuyển vị tại các vị trí của dầm.



Hình 16. So sánh giữa mô phỏng và thí nghiệm cho các trường hợp chuyển vị tại vị trí giữa dầm.

Đầu tiên, tại vị trí giữa dầm, đối với dầm bê tông cốt thép không gia cường CFRP khả năng chịu

lực đến khi dầm bị nứt là 40 kN. Nhưng khi gia cường CFRP dài 150 mm thì khả năng chịu lực tăng lên 53 kN. Dầm bê tông cốt thép không gia cường CFRP thì chuyển vị đến lúc phá hoại là 20 mm, dầm bê tông cốt thép gia cường CFRP dài 150 mm là 40 mm. Cho nên, việc gia cường CFRP sẽ giúp tăng khả năng chịu cho dầm cũng như chuyển vị cho vị trí chính giữa dầm.



Hình 17. So sánh giữa mô phỏng và thí nghiệm cho các trường hợp chuyển vị tại vị trí biên dầm.

Tương tự, tại vị trí biên dầm, dầm BTCT không gia cường CFRP khả năng chịu lực khi dầm bị phá hoại hoàn toàn là 38 kN. Nhưng khi gia cường CFRP dài 150 mm thì khả năng chịu lực tăng lên 52 kN. Dầm bê tông cốt thép không gia cường CFRP thì chuyển vị đến lúc phá hoại là 10 mm, dầm bê tông cốt thép gia cường CFRP dài 150 mm là 12 mm. Như vậy, việc gia cường CFRP cũng giúp làm tăng khả năng chịu lực cũng như chuyển vị cho vị trí biên dầm.

4. Kết luận

Nhóm đã mô phỏng thành công sự làm việc cho các trường hợp là dầm bê tông cốt thép không gia cường và gia cường CFRP dài 150 mm trong phần mềm ANSYS APDL. Qua đó, có thể giúp tối ưu chi phí, khi có thể mô phỏng nhiều kích thước dầm bê tông cốt thép với nhiều trường hợp CFRP có chiều dài khác nhau để phân tích và đánh giá. Kết quả phân tích cho thấy, dầm bê tông cốt thép không gia cường CFRP, khả năng chịu lực và độ cứng nhỏ hơn dầm được gia cường CFRP. Cụ thể, khả năng

chịu lực của dầm tăng lên gần 30% so với dầm không gia cường, trong khi chuyển vị giữa dầm giảm đi 40%. Trong thực tế gia cường sửa chữa công trình, vật liệu composite sợi carbon (CFRP) được sử dụng ngày càng phổ biến. Các nghiên cứu khoa học trên thế giới hiện nay về CFRP dùng trong sửa chữa gia cường công trình xây dựng khá phổ biến. Tuy nhiên, trong điều kiện ứng dụng tại Việt Nam, các nghiên cứu ứng dụng còn nhiều hạn chế do chưa có các chỉ dẫn kỹ thuật cụ thể. Nghiên cứu này góp phần củng cố cơ sở nghiên cứu trong nước, đồng thời cho thấy khả năng ứng dụng của phần mềm ANSYS APDL vào việc phân tích sự làm việc của kết cấu gia cường công trình bằng vật liệu composite cốt sợi carbon.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.01-2020.32. Đề tài nghiên cứu do TS. Nguyễn Phi Long chủ nhiệm và nhóm nghiên cứu thực hiện.

Tài liệu tham khảo

- [1] T. H. Anh, N. H. Giang, N. N. Tân; “Nghiên cứu thực nghiệm hiệu quả gia cường kháng uốn của dầm bê tông cốt thép bị ăn mòn bằng tấm sợi composite CFRP”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng. 2021; 15(1V):1–16. DOI: 10.31814/stce.nuce2021-15(1V)-01.
- [2] D. Đ. Quỳnh, N. T. Hiếu, P. X. Đạt, N. M. Hùng; “Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc chịu uốn của dầm bê tông cốt thép được gia cường bằng tấm composite CFRP ở trạng thái đang chịu tải”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng. 2021; 15(2V):1–11. DOI: 10.31814/stce.nuce2021-15(2V)-01.
- [3] N. V. Hùng, L. Q. Thìn; “Phân tích PTHH dầm bê tông cốt thép được gia cường bằng dải Polymer cốt sợi.Tuyển tập báo cáo khoa học Hội nghị khoa học toàn quốc lần thứ hai về sự cố và hư hỏng công trình xây dựng”. Hội nghị khoa học toàn quốc lần thứ hai về sự cố và hư

- hông công trình xây dựng 2003; NXB Xây dựng; 2003.
- [4] N. T. Cong, N. C. Thanh; “Giải pháp công nghệ gia cường kết cấu bê tông cốt thép bằng vật liệu cốt sợi tổng hợp”. Tạp Chí Khoa học Và Công nghệ Thủy lợi, 2016; 32:1-8.
- [5] W. Wenwei, L. Guo; “Experimental study and analysis of RC beams strengthened with CFRP laminates under sustaining load”. International Journal of Solids and Structures. 2006; 43 (6):1372–1387. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2005.03.076.
- [6] T. H. -K. Kang, J. Howell, S. Kim, D. J. Lee; “A State-of-the-Art Review on Debonding Failures of FRP Laminates Externally Adhered to Concrete”. International Journal of Concrete Structures and Materials. 2012; 6: 123–134. DOI: 10.1007/s40069-012-0012-1
- [7] International Federation for Structural Concrete; “Externally bonded FRP reinforcement for RC structures”. Lausanne, Switzerland:fib; 2001.
- [8] Mechanical APDL Advanced Analysis Guide. ANSYS, Inc.; November 2013. pp.414.
- [9] Mechanical APDL Advanced Analysis Guide. ANSYS, Inc.; November 2013. pp.521.
- [10] M. Habib et al.; “Non-Linear Finite Element Analysis Of Reinforced Concrete (Rc) Beams Strengthened With Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Sheets For Flexure And Shear Using Ansys”. Asian Journal of Mathematics and Computer Research. 2018; 24(2):75-95.
- [11] T. H. -K. Kang, J. Howell, S. Kim, D. J. Lee; “A State-of-the-Art Review on Debonding Failures of FRP Laminates Externally Adhered to Concrete”. International Journal of Concrete Structures and Materials. 2012; 6(2):123–134. DOI: 10.1007/s40069-012-0012-1.

Ngày nhận bài: 18/10/2021

Ngày chuyển phản biện: 21/10/2021

Ngày hoàn thành sửa bài: 11/11/2021

Ngày chấp nhận đăng: 17/11/2021