

**NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ỨNG XỬ CỦA
VÁCH LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG ĐƯỢC GIA CƯỜNG BẰNG
BÊ TÔNG CỐT LƯỚI DỆT**
**EXPERIMENTAL TEST ON COMPOSITE STEEL CONCRETE WALL
RETROFITTED WITH TEXTILE REINFORCED CONCRETE**

**TS. NGUYỄN HOÀNG QUÂN, ThS. LÊ ĐĂNG DŨNG, TS. NGUYỄN HUY CƯỜNG,
PGS.TS. NGUYỄN XUÂN HUY, NGUYỄN THÀNH TÂM**
Trường Đại học Giao thông Vận tải

Tóm tắt: Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử chịu tải trọng đứng và ngang đồng thời của vách liên hợp đã nứt được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt. Theo đó, hai thí nghiệm lần lượt được tiến hành: (i) mẫu vách liên hợp chịu tải trọng đứng và ngang đồng thời đến khi biên chịu kéo bị nứt và cốt thép đai đạt giới hạn chảy (ii) mẫu vách kể trên được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt và được thí nghiệm lại. Ứng xử của hai mẫu vách được so sánh trên các phương diện như: dạng phá hoại, đường cong lực – chuyển vị, biến dạng của cốt thép và thép hình, độ cứng và tính dẻo. Kết quả cho thấy rằng việc gia cường bê tông cốt lưới dệt là một giải pháp hiệu quả trong việc phục hồi độ cứng, khả năng chịu lực và tính dẻo của kết cấu vách liên hợp.

Từ khóa: vách liên hợp thép hình bê tông cốt thép, gia cường bằng TRC, nghiên cứu thực nghiệm.

Abstract: This paper presents an experiment of damaged composite steel- concrete wall retrofitted with textile reinforced concrete (TRC) simultaneously subjected to the vertical and lateral loads. Firstly, the composite steel-concrete wall was tested until the tension side cracked and the stirrup yielded. Secondly, this element is retrofitted by textile reinforced concrete. A comparison between the reference element and the retrofitted element in terms of failure mode, the applied load – displacement curve, the strain in reinforcement and the steel profile, the stiffness and ductility. The result indicated that the application of TRC is an effective procedure, able to restore the strength, stiffness and ductility for composite steel – concrete wall.

Keywords: composite steel- concrete wall, strengthening by TRC, experimental test.

1. Đặt vấn đề

Vách liên hợp là dạng kết cấu trong đó thép hình được sử dụng kết hợp với vách bằng bê tông cốt thép. Đây là dạng kết cấu có khả năng chịu lực

ngang lớn, có độ cứng và tính dẻo cao, khả năng tiêu hao năng lượng lớn, phù hợp để xây dựng các nhà cao tầng trong vùng thường xuyên chịu tải trọng động đất.

Trong quá trình sử dụng, do yêu cầu thay đổi công năng sử dụng hoặc do bị hư hỏng, vách liên hợp cần được gia cường để chịu được tải trọng lớn hơn hoặc tiếp tục được sử dụng để chịu lực. Hiện nay, việc gia cường kết cấu vách bê tông cốt thép bằng tấm composite polyme (FRP) là giải pháp đang được sử dụng rộng rãi do có nhiều ưu điểm như không bị ăn mòn, trọng lượng nhẹ, thi công dễ dàng. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của tấm FRP trong việc tăng cường khả năng chịu cắt, chống nở hông, phục hồi độ cứng và khả năng chịu lực ban đầu của vách bê tông cốt thép [1-3]. Gần đây, Dan [4], Sun và các cộng sự [5] thực hiện nghiên cứu tăng cường mẫu vách liên hợp đã bị hư hại bằng tấm FRP. Kết quả nghiên cứu của hai nhóm nghiên cứu kể trên đã cho thấy hiệu quả cao của tấm FRP trong việc phục hồi lại khả năng chịu lực cho vách liên hợp. Lưu ý rằng số lượng nghiên cứu về việc gia cường vách liên hợp bằng tấm FRP còn rất hạn chế. Tuy nhiên, giải pháp này cũng có một số nhược điểm như khả năng chịu lực bị suy giảm dưới tác động nhiệt độ cao, khó áp dụng trong môi trường ẩm ướt. Nhược điểm này của tấm FRP có thể được khắc phục bằng cách sử dụng bê tông cốt lưới dệt (textile reinforced concrete - TRC), trong đó, sợi được dệt thành lưới và đặt vào trong lớp bê tông hạt mịn. Dạng vật liệu này được áp dụng chủ yếu trong việc gia cường kết cấu tường gạch và đã chứng minh được là vật liệu tiềm năng trong việc sửa chữa và tăng cường dạng kết cấu này [6-9]. Tuy nhiên, ứng dụng TRC trong việc gia cường kết cấu vách bằng bê tông

cốt thép [10], đặc biệt là kết cấu vách liên hợp còn rất hạn chế.

Mục đích chính của bài báo nhằm nghiên cứu ứng xử chịu tải trọng đứng và ngang của vách liên hợp đã nứt được gia cường bằng TRC. Theo đó, một mẫu vách liên hợp không gia cường được tiến hành thí nghiệm tới khi biên chịu kéo bị nứt và cốt thép đai đạt giới hạn chảy. Ý tưởng gia cường mẫu vách khi cốt thép đai đạt giới hạn chảy tương ứng với nghiên cứu được thực hiện bởi Contamine và các cộng sự [11]. Tiếp đó, mẫu vách này được gia cường bằng bê tông TRC và được thí nghiệm lại. Ứng xử của mẫu vách liên hợp ban đầu và vách liên hợp được gia cường so sánh với nhau trên các phương diện: dạng phá hoại, mối quan hệ lực ngang – chuyển vị đỉnh, biến dạng trong các cốt thép và thép hình, độ cứng và tính dẻo.

Cấu trúc bài báo gồm các phần sau: phần 1 là mở đầu. Phần 2, 3 lần lượt giới thiệu cách thiết lập thí nghiệm và kết quả thí nghiệm mẫu vách liên hợp không gia cường và gia cường bằng TRC. Kết quả so sánh ứng xử của hai mẫu vách được trình bày trong phần 3. Phần cuối của bài báo được dành cho kết luận và kiến nghị.

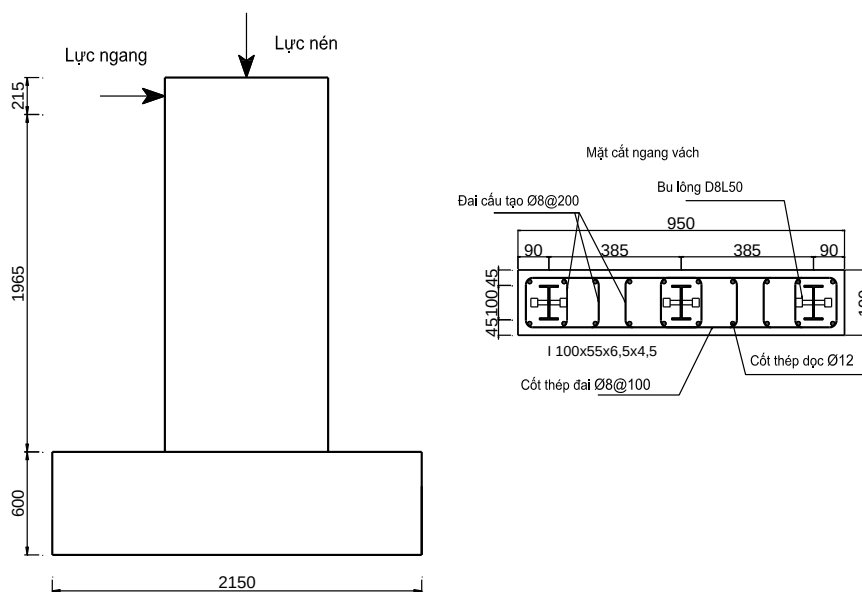
2. Thí nghiệm xác định ứng xử chịu tải trọng đứng và ngang đồng thời của mẫu vách liên hợp thép – bê tông cốt thép không được gia cường

Phần dưới đây trình bày tóm tắt lại thí nghiệm của nhóm tác giả đã được trình bày trong [12].

2.1 Bố trí thí nghiệm

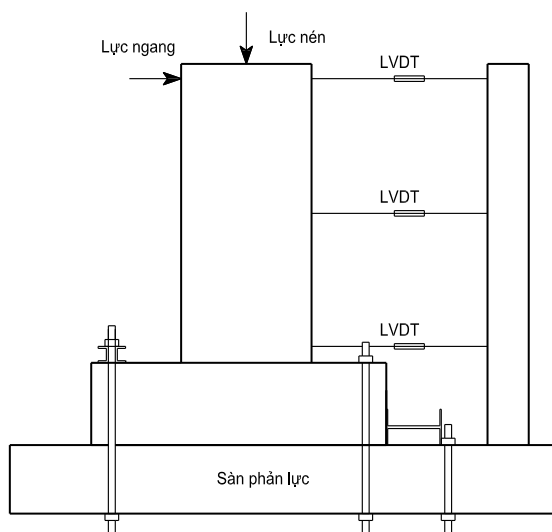
Cấu tạo mẫu vách liên hợp không được gia cường (VLH) được thể hiện trên hình 1. Vách có

chiều cao $H = 1865$ mm, chiều rộng $B = 950$ mm, chiều dày bằng 190mm. Tỷ số chiều cao trên chiều rộng vách $H/B = 1,96$. Vách được ngàm vào chân đế bằng bê tông cốt thép có chiều dài bằng 2200 mm, chiều cao bằng 600 mm, chiều rộng bằng 500 mm. Ba thép hình chữ I-100x55x6,5x4,5 được liên kết với bê tông vách bằng các bu lông có đường kính 8 mm, dài 50 mm được hàn dọc theo bản bụng của thép hình với khoảng cách 200mm. Phần cốt thép đặt trong vách bao gồm: cốt thép dọc có đường kính 12mm và cốt thép đai có đường kính 8 mm, bước cốt đai bằng 100 mm, cốt thép đai cấu tạo có đường kính 8mm và bước cốt đai cấu tạo bằng 200mm. Vật liệu dùng cho vách được thiết kế theo tiêu chuẩn Eurocode 4: bê tông có cấp độ bền C20/25, thép hình S275 và cốt thép S400. Thí nghiệm kéo cốt thép và thép hình thu được cường độ thực tế như sau: cốt thép đai có cường độ kéo chảy trung bình bằng 351 MPa, cốt thép dọc có cường độ kéo chảy trung bình bằng 415 MPa, thép hình có cường độ kéo chảy bằng 285 MPa. Tại thời điểm thí nghiệm, bê tông làm vách có cường độ chịu nén trung bình xác định trên mẫu trụ bằng 22 MPa. Ngoài ra, bê tông làm chân đế vách có cường độ chịu nén trung bình trên mẫu trụ bằng 42 MPa. Bê tông chân đế vách được thiết kế có cường độ chịu nén lớn hơn bê tông thân vách nhằm mục đích tránh phá hoại xảy ra ở phần chân đế.



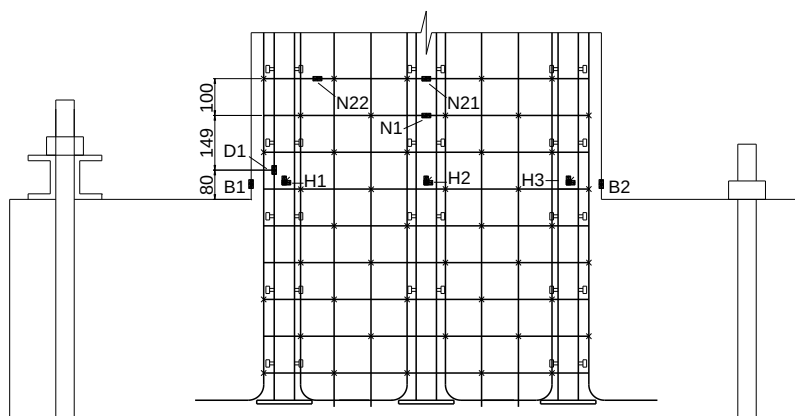
Hình 1. Cấu tạo mẫu vách liên hợp không gia cường

Hình 2 thể hiện sơ đồ bố trí thí nghiệm và thực tế bố trí thí nghiệm. Mẫu vách được tạo liên kết ngàm với sàn phản lực bên dưới thông qua các liên kết bu lông có đường kính bằng 36mm. Mẫu vách chịu tải trọng nén không đổi thông qua kích thủy lực 500 kN đặt trên đỉnh vách. Kích này tạo lực nén lên vách thông qua cơ chế lực và phản lực bằng cách tạo lực nén lên dầm thép đặt trên đỉnh vách. Dầm này được liên kết với sàn phản lực bên dưới thông qua hai thanh thép tròn có đường kính bằng 36mm.



Hình 2. a) Sơ đồ bố trí thí nghiệm và b) hình ảnh thực tế

Lực đẩy ngang tác dụng lên vách được thực hiện thông qua chuyển vị khống chế, với tốc độ gia tải bằng 0,02mm/s. Trong quá trình thí nghiệm, thứ tự các vết nứt xuất hiện trên vách và tải trọng tương ứng được ghi lại.

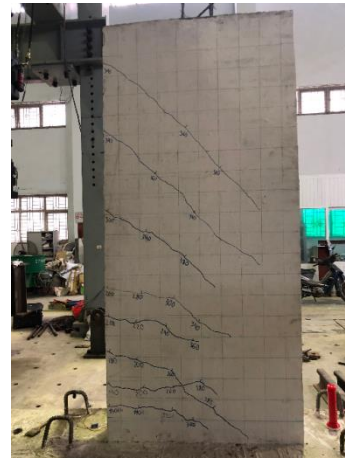
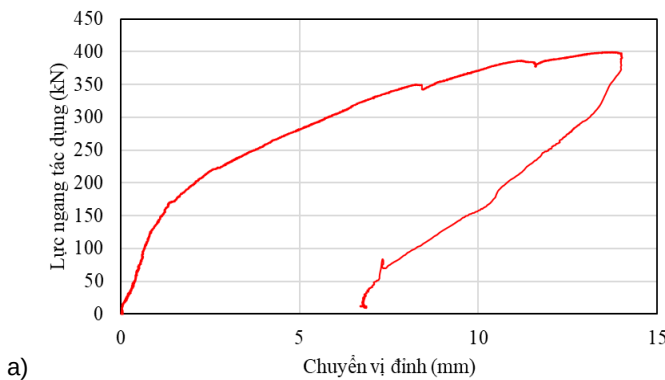


Hình 3. Sơ đồ bố trí các cảm biến đo biến dạng trên mẫu thí nghiệm

Hình 3 thể hiện sơ đồ đặt các cảm biến đo biến dạng trên mẫu thí nghiệm. Một cảm biến đo biến dạng được đặt trên cốt thép dọc tại vùng chịu kéo của vách (D1), ba cảm biến đo biến dạng một phương được đặt trên cốt thép đai, ký hiệu N1, N21,

N22. Ba cảm biến đo biến dạng ba phương được bố trí trên bản cánh của ba thép hình, ký hiệu H1, H2, H3. Hai cảm biến đo biến dạng của bê tông được bố trí tại hai mặt bên theo chiều dày của vách, ký hiệu B1, B2.

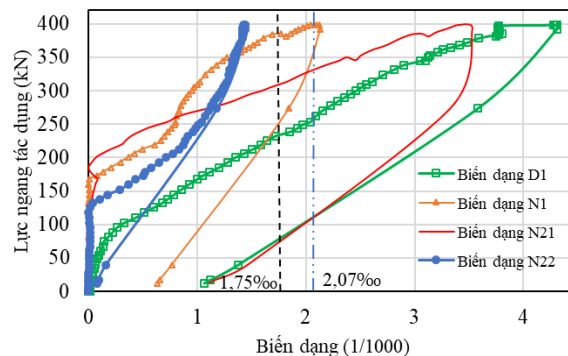
2.2 Kết quả thí nghiệm



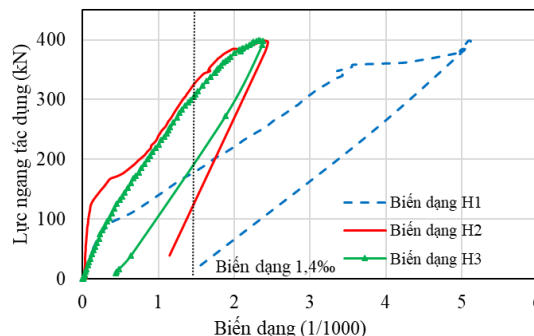
Hình 4. a) Đường cong quan hệ lực ngang tác dụng và chuyển vị đỉnh; b) dạng vết nứt trên vách

Hình 4a thể hiện mối quan hệ giữa lực ngang và chuyển vị đỉnh vách. Đường cong thể hiện cả giai đoạn hạ tải để xác định các biến dạng dư trên cốt thép dọc, cốt thép đai và thép hình. Dạng phá hoại của vách được thể hiện trên hình 4b. Quan sát thấy rằng trên đường cong quan hệ lực chuyển vị, mẫu vách có sự suy giảm độ cứng tại thời điểm ứng với giá trị 140 kN, đây là thời điểm xuất hiện hai vết nứt đầu tiên trên vách. Các vết nứt đầu tiên có phương ngang so với trục đứng của vách, đây là các vết nứt do uốn. Tiếp đó, các vết nứt tiếp tục phát triển và có xu hướng nghiêng so với trục vách, đây là dạng vết nứt đặc trưng do uốn cắt. Ứng với giá trị lực khoảng 320 kN, các vết nứt nghiêng xuất hiện gần điểm đặt lực, đây là các vết nứt do cắt. Giá trị lực lớn nhất tác dụng lên mẫu bằng 400kN. Mối quan hệ giữa lực ngang tác

dụng và biến dạng trong các cốt thép đai được thể hiện trên hình 5. Nhận thấy rằng, biến dạng trong các cốt thép đai bắt đầu tăng với giá trị lực khoảng 140 kN tương ứng với vết nứt đầu tiên xuất hiện. Các cốt thép đai N1,N21 đạt tới giới hạn chảy với biến dạng tương ứng lần lượt bằng 2,13‰, 3,52 ‰ (biến dạng chảy của cốt thép đai bằng 1,75‰-hình 5). Lưu ý rằng, mặc dù cảm biến N21, N22 cùng được đặt trên một thanh cốt thép đai nhưng tại điểm đặt cảm biến đo biến dạng N22, cốt thép đai không bị chảy (biến dạng lớn nhất trên N22 bằng 1,44‰). Điều này có thể giải thích bởi vị trí đặt cảm biến N21 gần với vị trí xuất hiện vết nứt hơn so với cảm biến N22. Cốt thép dọc D1 ở biên chịu kéo cũng đạt tới giới hạn chảy với biến dạng lớn nhất bằng 4,32 ‰ (biến dạng chảy của cốt thép dọc bằng 2,07‰-hình 5).



Hình 5. Mối quan hệ giữa lực ngang tác dụng và biến dạng trong cốt thép



Hình 6. Mối quan hệ giữa lực ngang tác dụng và biến dạng trong thép hình

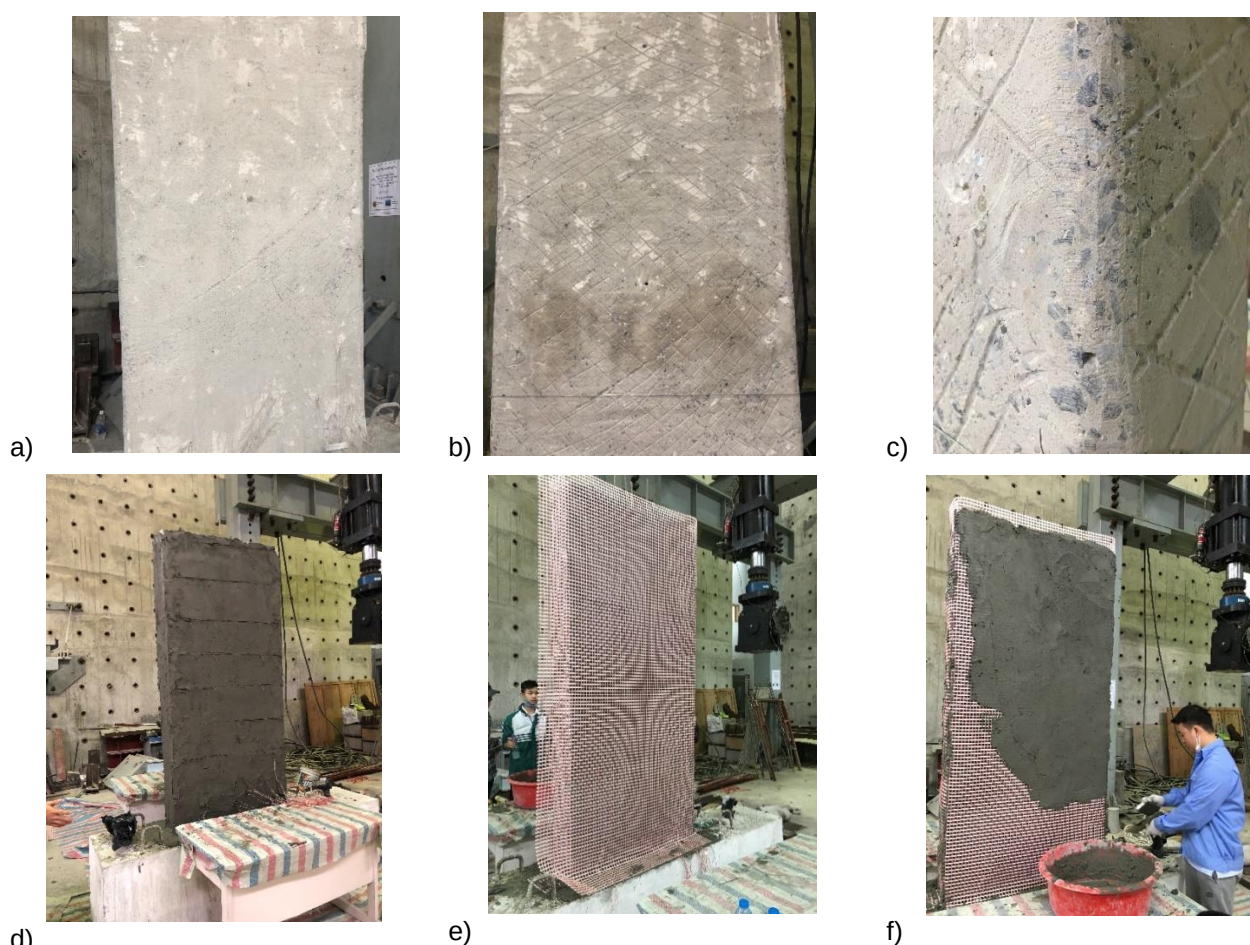
Mối quan hệ giữa lực ngang tác dụng và biến dạng trong thép hình được thể hiện trên hình 6. Quan sát thấy rằng biến dạng trong ba thép hình đều đạt tới biến dạng chảy (biến dạng chảy của thép hình bằng 1,4 ‰). Thép hình H1 ở biên chịu kéo đạt biến dạng lớn nhất bằng khoảng 5‰, thép hình H3 ở biên chịu nén đạt biến dạng nén lớn nhất bằng 2,4‰.

3. Thí nghiệm xác định ứng xử chịu tải trọng đứng và ngang đồng thời của mẫu vách liên hợp thép – bê tông cốt thép đã nứt được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt

3.1 Bố trí thí nghiệm

Mẫu vách trình bày ở trên được tiến hành xử lý bề mặt trước khi gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt (VLHG). Mục đích của việc gia cường vách nhằm phục hồi khả năng chịu lực ngang của vách, đảm bảo cho vách có ứng xử dẻo. Bê tông cốt lưới dệt dùng trong nghiên cứu được cấu tạo từ một lớp lưới sợi dệt hình ô vuông, khoảng cách giữa các mắt lưới bằng 17mm, diện tích một bó sợi bằng 1,8 mm² được đặt trong bê tông hạt mịn có cường độ chịu nén bằng 50,2 MPa. Lưới sợi dệt được đặt trên toàn chiều cao của vách. Cường độ chịu kéo của

lưới bằng 1850 MPa, mô đun đàn hồi bằng 120000 MPa. Hình 7 trình bày trình tự tăng cường vách liên hợp bằng TRC. Trước tiên, bốn mặt bên của vách được mài nhẵn (hình 7a). Tiếp đó, các vết khía hình quả trám được tạo trên bề mặt vách để tăng cường khả năng bám dính của bê tông cũ với bê tông hạt mịn (hình 7b). Các cạnh bên của vách được vát tròn với bán kính khoảng 20 mm để hạn chế sự suy giảm cường độ của sợi tại các điểm uốn (hình 7c). Quá trình thi công gia cường bằng TRC được tiến hành như sau: trước tiên, một lớp bê tông hạt mịn có chiều dày khoảng 5 mm được trát lên vách (hình 7d). Tiếp đó, lưới sợi dệt được bọc xung quanh vách trước khi tiến hành trát lớp bê tông hạt mịn thứ hai có chiều dày khoảng 5 mm (hình 7e,f). Lưới sợi dệt được đặt chồng lên nhau một đoạn bằng 200mm theo mặt dày của vách nhằm đảm bảo chiều dài neo của lưới sợi dệt. Cũng nhằm mục đích này, cốt lưới dệt được kéo dài xuống mặt trên của chân đế vách (hình 7e). Sơ đồ bố trí thí nghiệm mẫu VLHG được bố trí tương tự mẫu VLH. Nhằm mục đích so sánh ứng xử của VLH và VLHG, lực nén tác dụng lên mẫu VLHG cũng được giữ không đổi bằng 180 kN trong suốt quá trình thí nghiệm.

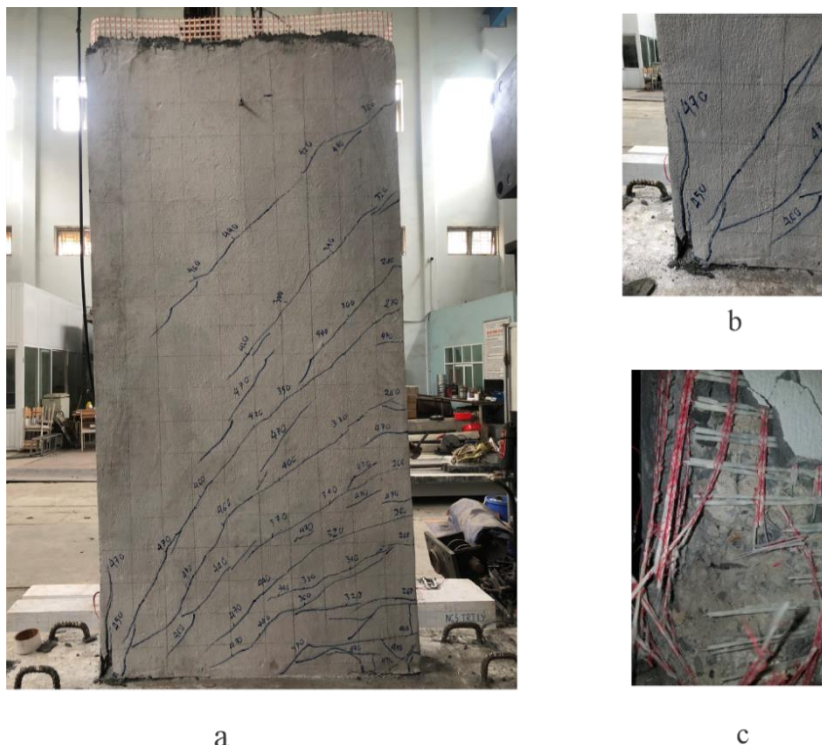


Hình 7. Trình tự gia cường vách bằng TRC

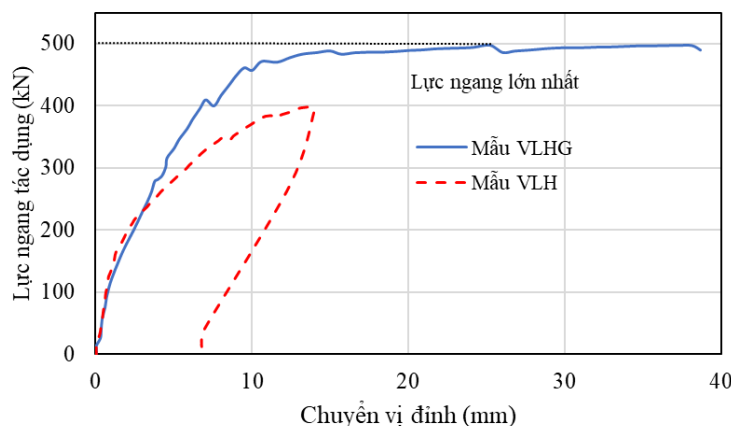
3.2 Kết quả thí nghiệm

Hình 9 thể hiện hình dạng phá hoại của mẫu vách liên hợp được gia cường bằng TRC. Các vết nứt đầu tiên trên mẫu VLHG có phương ngang so với trục vách, ứng với giá trị lực ngang bằng 260 kN. Như vậy, so với mẫu VLH, các vết nứt đầu tiên xuất hiện ở giá trị lực lớn gần gấp đôi. So sánh với thời điểm bắt đầu xuất hiện nứt trên mẫu VLH, số lượng các vết nứt trên mẫu VLHG xuất hiện nhiều hơn so với mẫu VLH. Như vậy, TRC góp phần phân bố đều các vết nứt trên mẫu so với mẫu VLH. Khi

lực ngang tăng lên, các vết nứt có phương xiên và tiến về vùng nén của mẫu VLHG (hình 8a). Đây là các vết nứt đặc trưng của mẫu vách chịu uốn – cắt. Tại giá trị lực ngang bằng khoảng 450 kN, bê tông vùng nén bị vỡ (hình 8b). Ứng với giá trị lực khoảng 470 kN, tại vùng chuyển tiếp giữa thân vách và chân đế xuất hiện vết nứt. Đồng thời, lưới sợi tại khu vực này cũng bị kéo đứt (hình 8c). Cũng tại thời điểm này, tại vùng chân vách ở biên chịu kéo, xuất hiện một số vết nứt bắc cầu qua các vết nứt uốn – cắt đã hình thành trước đó.



Hình 8. Hình ảnh phá hoại của mẫu vách liên hợp được gia cường bằng TRC



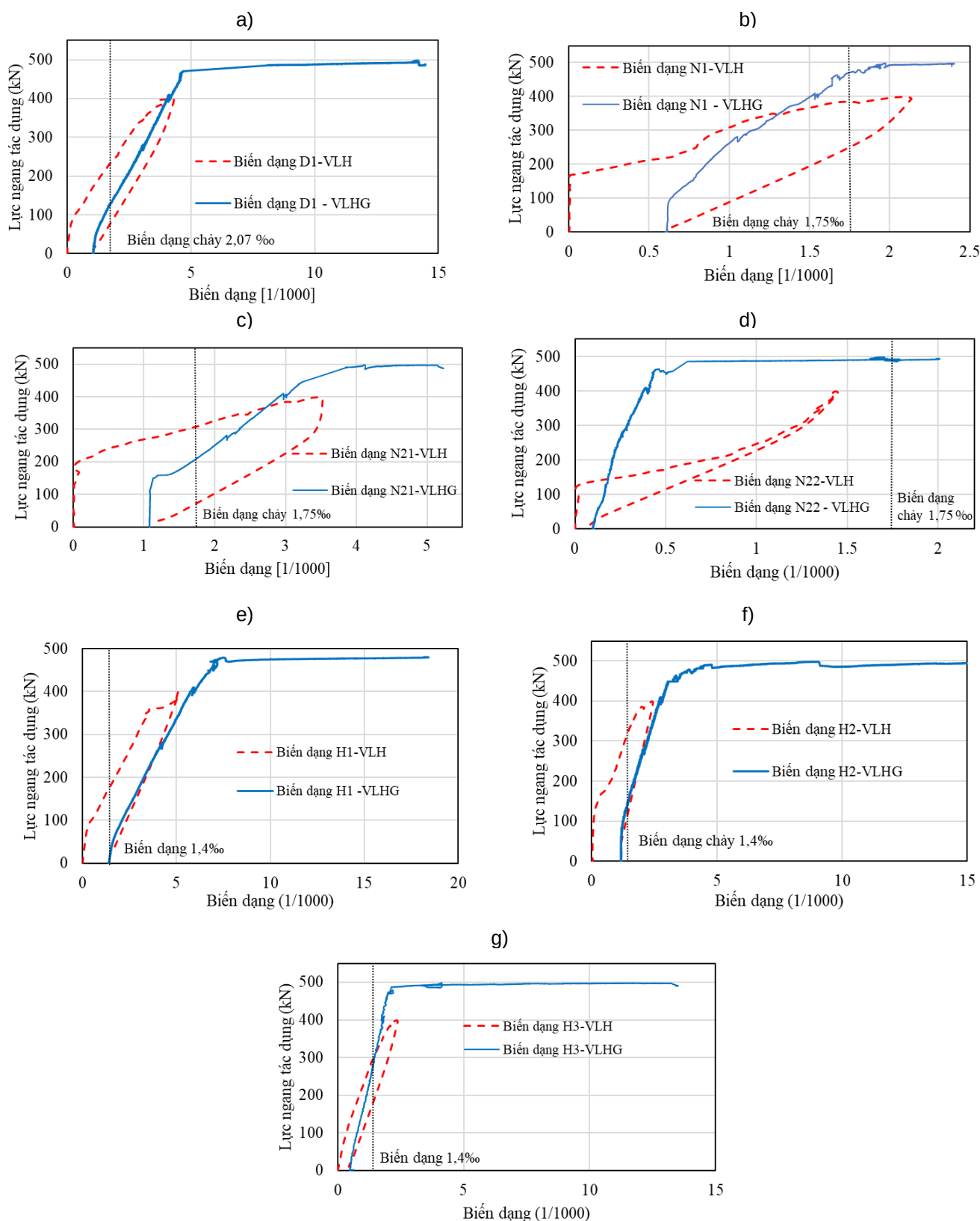
Hình 9. So sánh mối quan hệ lực ngang – chuyển vị đỉnh của mẫu VLH và VLHG

Sự so sánh mối quan hệ lực ngang – chuyển vị đỉnh của mẫu VLH và VLHG được thể hiện trên hình 9. Quan sát thấy rằng, với giá trị lực nhỏ hơn khoảng 120 kN, mẫu vách VLH và VLHG có sự tương đồng về độ cứng. Trong

khoảng giá trị lực từ 120 kN đến 240 kN, các vết nứt cũ bắt đầu mở rộng dẫn tới mẫu VLHG có sự suy giảm độ cứng so với mẫu VLH. Tuy nhiên, khi tiếp tục gia tải, mẫu VLHG có ứng xử gần như tuyến tính đến giá trị lực khoảng 470 kN.

Trong khoảng lực trị lực từ 240 kN đến 400kN, với cùng một giá trị lực tác dụng, mẫu VLH có chuyển vị lớn hơn so với mẫu VLHG. Như vậy, trong khoảng lực này, độ cứng của mẫu VLHG lớn hơn độ cứng của mẫu VLH. Điều này chứng minh được hiệu quả gia cường của TRC. Tiếp

đó, khi giá trị lực ngang gần xấp xỉ 500 kN, mẫu VLHG thể hiện ứng xử dẻo khi lực tác dụng gần như không đổi nhưng chuyển vị mẫu tăng dần. Như vậy, sau khi được gia cường, mẫu vách tiếp tục có khả năng chịu tải trọng lớn hơn, giá trị lực lớn nhất tăng 20% so với mẫu vách ban đầu.



Hình 10. So sánh biến dạng trong các cốt thép và thép hình của mẫu VLH và VLHG

Hình 10 thể hiện sự so sánh biến dạng trong các cốt thép và thép hình của mẫu VLH và VLHG. Biến dạng cốt thép và thép hình của mẫu VLHG được tính từ biến dạng dư tương ứng của cốt thép và thép hình mẫu VLH. Quan sát thấy rằng, thép dọc D1, thép hình H1, H2, H3 đều có biến dạng lớn với biến dạng đo được lớn hơn 14‰. Giá trị biến dạng này một lần nữa khẳng định mẫu VLHG có phá hoại dẻo. Bên cạnh đó, biến dạng trên các cốt đai N1, N21, N22 trên mẫu VLHG cũng tiếp tục tăng so với biến dạng của các cốt đai trên mẫu VLH. Như vậy, sau khi gia cường bằng TRC, các cốt thép đai vẫn tiếp tục có khả năng truyền lực cắt.

4. Kết luận

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử chịu tải trọng đứng và ngang đồng thời trên 2 mẫu vách: (i) vách liên hợp thép hình bê tông cốt thép chịu tác dụng lực đến khi biên chịu kéo bị nứt và cốt thép đai đạt tới giới hạn chảy, (ii) mẫu vách kể trên được gia cường bằng TRC. Một số kết luận có thể rút ra như sau:

- Việc gia cường vách liên hợp bằng TRC có khả năng phục hồi độ cứng của vách. Sau khi được gia cường, vách tiếp tục có khả năng chịu lực với giá trị lực lớn nhất tăng 20% so với mẫu vách ban đầu;
- Sau khi được gia cường, mẫu vách bị phá hoại dẻo thể hiện thông qua cốt thép dọc và các thép hình có biến dạng lớn hơn 14‰, bê tông vùng nén bị vỡ, lưới sợi bị kéo đứt. Biến dạng trong cốt đai tiếp tục tăng từ các biến dạng dư ban đầu.

Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng bê tông cốt lưới dệt là giải pháp gia cường hiệu quả cho kết cấu vách liên hợp thép hình- bê tông cốt thép trong việc phục hồi độ cứng, phục hồi khả năng chịu lực, tăng tính dẻo. Ảnh hưởng dạng mặt cắt của vách liên hợp, số lớp lưới sợi dệt, các giải pháp gia cường tới ứng xử chịu tải trọng đứng và ngang đồng thời của vách liên hợp được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt là các hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm nghiên cứu.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài mã số T2021-XD-004.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Li B., Lim CL., (2010). Tests on seismically damaged reinforced concrete structural walls repaired using fiber – reinforced polymers. *Journal of composite for Construction* 14, pp 597–608.
- Hatami F, Ghamari A, Rahai A., (2012). Investigating the properties of steel shear walls reinforced with carbon fiber. *Journal of constructional steel research* 70, pp 36–42.
- Le Nguyen K., Brun M., Limam A., Ferrier E., Michel L (2014). Pushover experiment and numerical analyses on CFRP-retrofit concrete shear walls with different aspect ratios. *Composite Structures* 113, pp 403–18.
- Wei H, Wu Z, Guo X, Yi F., (2009). Experimental study on partially deteriorated strength concrete columns confined with CFRP. *Engineering Structure* 31, pp 2495–2505.
- Dan D., (2012). Experimental tests on seismically damaged composite steel concrete walls retrofitted with CFRP composites. *Engineering Structure* 45, pp 338-348.
- Sun F.J., Pang S.H., Zhang Z.W, FU F., Qian K. (2020). Retrofitting seismically damaged steel sections encased concrete composite walls using externally bonded CFRP strips. *Composite Structures* 236, pp 111927.
- Bui T.L., Larbi A. Si., Reboul N., Ferrier E., (2015). Shear behaviour of masonry walls strengthened by external bonded FRP and TRC. *Composite Structures* 132, pp 923-932.
- Bernat E, Gil L, Roca P, Escrig C (2013). Experimental and analytical study of TRM strengthened brickwork walls under eccentric compressive loading. *Construction and Building Material* 44, pp 35-47.
- Carozzi F.G., Milani G, Poggi C., (2014). Mechanical properties and numerical modeling of fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) systems for strengthening of masonry structures. *Composite Structures* 107, pp 711–725.
- Papanicolaou CG, Triantafillou TC, Karlos K, Papathanasiou M., (2007). Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading. *Materials and Structure* 40, pp 1081–97.
- Tout C., Dan D., Stoian V., (2014). Numerical and experimental investigation on seismically damaged reinforced concrete wall panels retrofitted with FRP composite. *Composite structures* 119, pp 648-665.
- Contamine R., Larbi A. Si, Hamelin, P., (2013). Identifying the contributing mechanisms of textile reinforced concrete (TRC) in the case of shear repairing damaged and reinforced concrete beam. *Engineering Structures* 46, pp 447-458.
- Nguyễn Hoàng Quân, Nguyễn Xuân Huy, Lê Đăng Dũng, Nguyễn Thành Tâm (2019). Nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử chịu cắt của vách liên hợp thép hình bê tông cốt thép. *Tạp chí khoa học và công nghệ xây dựng* 4, trang 19-26.

Ngày nhận bài: 5/10/2021.

Ngày nhận bài: 29/10/2021.

Ngày chấp nhận đăng: 31/10/2021.

