

KỸ THUẬT ĐO CHUYỂN VỊ KẾT CẤU BÊ TÔNG SỬ DỤNG CAMERA

DISPLACEMENT MEASUREMENT TECHNIQUE FOR CONCRETE STRUCTURES USING CAMERA

Trương Hoài Chính, Đào Ngọc Thế Lực

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; thchinh@dut.udn.vn, dntluc@dut.udn.vn

Tóm tắt - Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ xử lý ảnh, việc phân tích ảnh để xác định biến dạng, chuyển vị sẽ thay thế cho việc sử dụng các loại cảm biến đo biến dạng như LVDT, strain gauge. Hiện nay, trên thị trường có nhiều loại máy ảnh kỹ thuật số có độ phân giải cao cùng với công nghệ xử lý ảnh ngày càng hoàn thiện thì việc kết hợp giữa thiết bị thu ảnh và công cụ phân tích ảnh để tạo ra thiết bị đo biến dạng chuyển vị và biến dạng là cần thiết vì thiết bị này cho phép quan trắc chuyển vị trên một diện tích rộng, trích xuất kết quả của một vùng bất kỳ trên miền đo đạc, đồng thời thiết bị này dễ dàng lắp đặt, sử dụng và giá thành thấp. Bài viết này giới thiệu kỹ thuật phân tích ảnh dùng để đo biến dạng kết cấu bằng chương trình MATLAB và sử dụng để đo chuyển vị của thí nghiệm đầm cao bê tông cốt thép có khoét lỗ. Kết quả được kiểm tra với chuyển vị thu được trên đồng hồ đo.

Từ khóa - phân tích ảnh; DIC; đo đặc chuyển vị; MATLAB; hiệu chỉnh ảnh.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, việc quan trắc đo chuyển vị, biến dạng trên bề mặt kết cấu bê tông chủ yếu dựa vào thiết bị cảm biến đo chuyển vị LVDT hay các cảm biến strain gauge. Thiết bị chỉ dùng để đo chuyển vị, biến dạng cục bộ tại vị trí lắp đặt. Khi vùng đo biến dạng lớn hơn và số vị trí cần lấy chuyển vị nhiều hơn thì cần phải sử dụng số lượng lớn strain gauge, LVDT. Sự phân bố quá nhiều strain gauge và dây dẫn trên bề mặt kết cấu sẽ gây trở ngại lớn cho việc quan sát ứng xử của bề mặt bê tông. Hơn nữa, một strain gauge chỉ đo chuyển vị theo một phương mà tại một điểm trên bề mặt chuyển vị xảy ra theo nhiều phương, nên kết quả đo đạc khi dùng strain gauge không phản ánh hết trạng thái biến dạng tại một điểm trên bề mặt bê tông. Đồng thời với một lượng lớn các cảm biến sẽ cần một hệ thiết bị thu thập số liệu gây công kênh phức tạp. Bên cạnh đó, trong những trường hợp cần đo ứng xử của bê tông trong giai đoạn chưa đông kết và co ngót ban đầu, thì không thể sử dụng các thiết bị này được. Như vậy, có quá nhiều hạn chế khi sử dụng phương pháp đo truyền thống cho việc đo biến dạng, chuyển vị của kết cấu.

Một phương thức được phát triển và áp dụng để đo biến dạng, chuyển vị khác, phổ biến ở các phòng thí nghiệm trên thế giới là sử dụng kỹ thuật quang học bằng công nghệ xử lý ảnh (kỹ thuật giao thoa ảnh và kỹ thuật tương quan ảnh số). Phương thức đo đặc bằng giao thoa yêu cầu một nguồn sáng kết hợp, và phương thức đo đặc này được thực hiện dựa trên nền tảng vật lý quang học. Phương thức này đo đặc sự biến dạng bằng cách ghi lại sự khác biệt pha của sóng ánh sáng phân tán từ bề mặt vật thể thử nghiệm trước và sau khi biến dạng. Các kết quả đo thường được trình bày dưới dạng các vân giao thoa; do đó, cần có thêm các kỹ thuật phân tích vân giao thoa và pha của ánh sáng để nhận diện được kết quả đo biến dạng, chuyển vị. Trong khi đó, kỹ thuật không giao thoa xác định sự biến dạng bề mặt bằng cách so sánh sự thay đổi cường độ xám của bề mặt vật thể trước và sau khi biến dạng,

Abstract - Today, with the rapid development of image processing technology, image analysis to identify deformation and displacement will replace the use of LVDT, strain gauges. There are currently many types of high resolution digital cameras and improved image processing technology. The combination of image capture equipment and image analysis tools to create equipment for measurement of displacement and deformation is necessary for the below reasons: (1) allowing the observation of deformation on the structural surface over a wide area, (2) allowing the extraction of the results of any region of the measuring domain simultaneously, (3) being easy for installation, use and low cost. This article introduces the image analysis technique used to measure structural displacement by MATLAB program. The device is used to measure the displacements of reinforced concrete deep beam with openings.

Key words - image analysis; DIC; displacement measurement; MATLAB; calibration.

và thường có yêu cầu ít nghiêm ngặt hơn trong điều kiện thí nghiệm, đại diện cho kỹ thuật này là phương pháp DIC (digital image correlation – tương quan hình ảnh số) đã được chấp nhận rộng rãi và thường được sử dụng như là một công cụ mạnh mẽ và linh hoạt cho phép đo biến dạng bề mặt trong thí nghiệm cơ học vật rắn. Phương thức này đo đặc được biến dạng và chuyển vị của toàn bộ vùng cần quan sát, bằng cách so sánh các hình ảnh số của bề mặt mẫu ở các trạng thái không bị biến dạng và các trạng thái bị biến dạng. Về nguyên tắc, DIC là hệ thống đo lường quang học dựa trên kỹ thuật số xử lý hình ảnh và tính toán số. Phương thức này được phát triển đầu tiên bởi nhóm nghiên cứu tại trường Đại học Nam Carolina vào những năm 1980, khi kỹ thuật xử lý ảnh số và tính toán số vẫn còn trong thời kỳ sơ khai. Tuy nhiên, trong thời gian qua, phương pháp DIC đã được nghiên cứu và cải tiến đáng kể, nhằm giảm tính phức tạp tính toán, đạt được độ chính xác cao và mở rộng phạm vi áp dụng. Phương pháp 2D DIC bằng cách sử dụng một máy ảnh cố định được giới hạn trong phép đo biến dạng phẳng của bề mặt phẳng của đối tượng. Để đạt được độ tin cậy của phương pháp đo, một số yêu cầu của hệ thống đo đặc phải được đáp ứng. Nếu đối tượng thử nghiệm có mặt cong, hoặc biến dạng ba chiều (3D) xảy ra sau khi đặt tải thì phương pháp 2D DIC không còn áp dụng nữa.

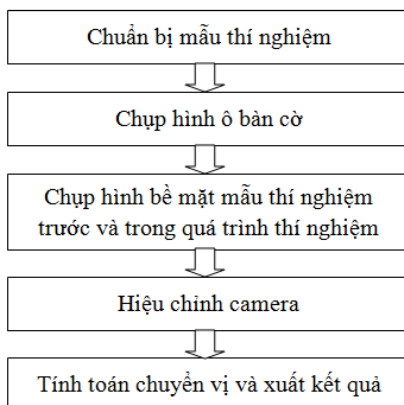
Phương thức đo biến dạng sử dụng camera được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Raffard (2001) [5] đã ước lượng được vùng chuyển vị và biến dạng trên bề mặt đá và vừa sử dụng xử lý hình ảnh số. Kuo (2003) [4] đã thực hiện phân tích ảnh để tính toán sự biến dạng của tinh thể nhôm. Shih (2006) [6] quan sát các vết nứt của kết cấu sử dụng phương pháp hiệu chỉnh hình ảnh số và áp dụng cho kết cấu khối xây gạch. Capéran (2007a), Capéran (2007b) [1] [2] đã tính được các vị trí chuyển vị và các trường ứng suất của sàn bê tông cốt thép trong thí nghiệm chịu động đất và đưa ra một thuật toán mới để theo dõi vết nứt. Capéran (2007c) [3] áp dụng phép đo

chuyển vị 3D dựa trên hình ảnh để đo biến dạng uốn của cột hình trụ. Yang (2011) [7] đã đề xuất phương thức đo biến dạng trên bề mặt kết cấu bê tông cốt thép, dựa vào hình ảnh chụp được trên bề mặt kết cấu ở trước và trong suốt quá trình thí nghiệm, và bộ công cụ xử lý ảnh. Trong báo cáo, nhóm tác giả đã đề xuất phương thức thực hiện đo biến dạng dựa vào hình ảnh gồm có 9 bước. Nhóm xây dựng thuật toán kết hợp được sử dụng để xác định chuyển vị và biến dạng trên ảnh đã hiệu chỉnh. Kết quả chuyển vị, biến dạng thu được có độ chính xác thấp hơn nhiều so với việc sử dụng cảm biến strain gauge. Với lưới đo đặc thô cho độ chính xác cao hơn so với lưới mịn hơn, nhưng kết quả biến dạng vẫn đảm bảo độ chính xác cần thiết cho kết cấu bê tông cốt thép (BTCT). Yang (2013) [6] đã đề xuất phương thức quan sát vết nứt của kết cấu trụ bê tông cốt thép bằng việc phân tích ảnh từ các hình ảnh chụp từ bề mặt của mẫu. Tác giả đã mô tả phương pháp luận và mô hình toán học cho việc nhận diện và tính toán bề rộng vết nứt. Theo đó, quy trình thực hiện phân tích vết nứt bằng ảnh cho kết cấu dạng trụ BTCT được đề xuất gồm 6 bước. Điều chú ý khi thực hiện phân tích ảnh cho bề mặt cong đó là số điểm điều khiển phải đủ để xác định vùng đo đặc. Tác giả đã phân tích trên bề mặt cong với kết quả bề rộng vết nứt thu được chênh lệch 0,03 mm so với đo bằng tay, và chương trình cũng nhận diện được vết nứt phát triển mà mắt thường không quan sát được.

Phương pháp 2D DIC gặp phải nhược điểm đó là camera phải đặt song song với bề mặt của mẫu, và bề mặt phẳng của mẫu thí nghiệm phải có phân bố cường độ màu xám ngẫu nhiên. Vấn đề này sẽ được khắc phục bằng cách sử dụng nhiều camera và không cần thiết phải đặt song song với bề mặt mẫu, nhờ công nghệ xử lý ảnh sẽ điều chỉnh để xây dựng lại không gian của điểm cần đo, và thực hiện đo chính xác vị trí cần đo. Bài viết này đề xuất quy trình đo chuyển vị sử dụng công nghệ xử lý ảnh để phân tích các hình ảnh chụp mẫu kết cấu bê tông cốt thép bằng 2 camera. Quá trình phân tích ảnh được thực hiện trên nền phần mềm Matlab. Bài báo cũng tiến hành đo chuyển vị trong thí nghiệm dầm cao có lỗ mở, và xác minh độ tin cậy với kết quả đo chuyển vị bằng một phương thức khác (đo bằng đồng hồ chuyển vị).

2. Quy trình kỹ thuật đo chuyển vị sử dụng camera

Phương thức đo đặc dựa sử dụng camera được thực hiện dựa trên giả thiết rằng vùng đo đặc vẫn phẳng trước và sau khi thí nghiệm, theo đó quy trình tính được thực hiện theo trình tự như sau:



Quy trình này được thực hiện như sau:

Bước 1: Chuẩn bị mẫu thử

- Thực hiện vẽ các lưới lên bề mặt mẫu, việc này sẽ tạo ra các đặc trưng cho bề mặt kết cấu để dễ dàng theo dõi chuyển vị khu vực đo;

- Dán các điểm mốc lên bề mặt mẫu, ít nhất cần đánh dấu trên 3 góc của vùng đo;

- Lắp đặt một cặp camera có giá đỡ an toàn để chụp hình vùng thí nghiệm. Với phương thức này thì các camera không cần thiết phải đặt song song với vùng đo đặc. Một camera dùng để quan sát toàn bộ vùng đo trong suốt quá trình thí nghiệm. Nếu không gian lắp đặt hạn chế, các camera có thể không cần phải lắp đặt song song với vùng đo nhưng cho phép có chướng ngại vật nằm giữa vùng đo đặc và camera. Những chướng ngại vật này không được di chuyển;

- Lắp đặt các thiết bị điều khiển từ xa để thực hiện việc chụp ảnh tự động từ xa, tránh chạm vào camera gây nhiễu ảnh hưởng đến kết quả phân tích.

Bước 2: Chụp hình ô bàn cờ

- Đặt ô bàn cờ gần vùng đo đặc;

- Chụp một cặp ảnh bằng 2 camera trong cùng một thời điểm;

- Di chuyển ô bàn cờ một chút;

- Thực hiện chụp ô bàn cờ tại vị trí mới. Sau đó lặp lại các bước ở trên và thực hiện chụp nhiều cặp ảnh, tối thiểu là 10 cặp ảnh;

- Đo đặc kích thước của 1 ô nhỏ của ô bàn cờ, xác định được kích thước dx, dy.

Như vậy, dữ liệu thu được của bước này là các cặp ảnh chụp ô bàn cờ và kích thước ô (dx, dy).

Bước 3: Chụp hình mẫu trước và trong quá trình thí nghiệm

- Chụp một cặp ảnh trước khi bắt đầu thí nghiệm với giả thiết vùng đo đặc không biến dạng. Trong phương thức này, biến dạng và chuyển vị được đo bằng cách so sánh ảnh ở trạng thái ban đầu và ảnh ở trạng thái bị biến dạng. Như vậy, bức ảnh ban đầu được xem là trạng thái tham khảo của mẫu;

- Thực hiện chụp cặp ảnh trong vùng đo biến dạng ứng với từng cấp tải trọng;

- Ghi lại các thông tin của thí nghiệm (thời gian, chuyển vị, lực ...) khi thực hiện chụp các cặp ảnh;

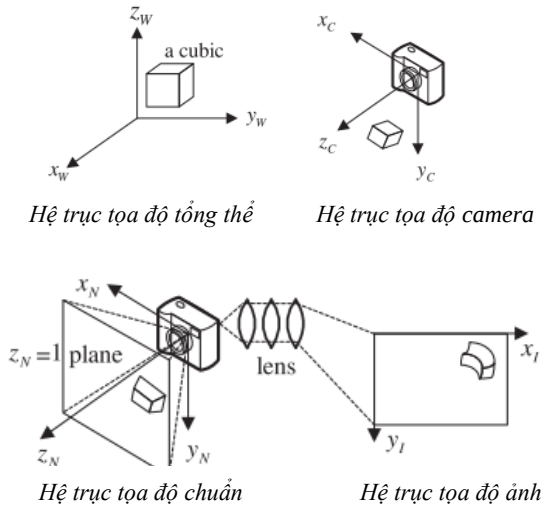
- Lặp lại quá trình chụp hình và ghi chép dữ liệu thí nghiệm cho đến kết thúc thí nghiệm.

Những cặp ảnh chụp trong quá trình thí nghiệm nên được thực hiện trên cả 2 camera trong cùng một thời gian. Nếu không chụp trong cùng một thời gian thì kết quả đo đặc không đạt được độ chính xác mong đợi. Trong toàn bộ quá trình thí nghiệm, các camera không được va chạm và di chuyển.

Bước 4: Chạy chương trình hiệu chỉnh camera

- Hiệu chỉnh camera là một quá trình để tìm kiếm các tham số chuyển hệ trục tọa độ (hệ trục tọa độ tổng thể (world coordinate), hệ tọa độ camera (camera coordinate), hệ tọa độ chuẩn (normalized coordinate) và hệ tọa độ ảnh

(image coordinate)). Những tham số này được sử dụng để loại bỏ ảnh hưởng của việc hạn chế của không gian lắp đặt và độ méo mó của ảnh.



Hình 1. Các hệ tọa độ trong phương thức đo biến dạng sử dụng camera

- Chạy chương trình hiệu chỉnh camera với dữ liệu đầu vào lấy ở Bước 3. Việc này được thực hiện dựa vào bộ công cụ có sẵn trong Matlab 2009a. Các tham số camera bao gồm:

- + Các tham số bên ngoài giữa 2 camera. Gồm ma trận góc xoay R và vec-tơ chuyển vị T;
- + Các tham số bên trong của camera: Chiều dài tiêu cự f_x và f_y , hệ số góc xoay α , các điểm chính C_x , C_y , và các hệ số biến dạng của ảnh.

Bước 5: Tính toán chuyển vị và xuất kết quả chuyển vị

- Chọn các điểm không chế P1, P2, P3 trong hệ tọa độ tổng thể. Chọn hệ trục tọa độ Oxy dùng xác định chuyển vị.

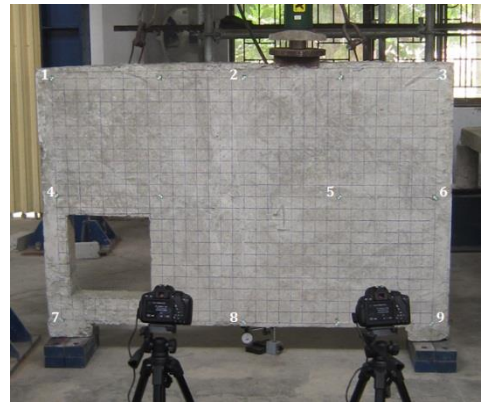
- Vì các camera không song song với bề mặt đo, các ảnh thu được có độ méo mó nên không thể sử dụng ảnh chụp trực tiếp để đo biến dạng, mà thông qua các tham số của các camera thu được ở Bước 3 để hiệu chỉnh ảnh, loại bỏ ảnh hưởng của quang cảnh cũng như độ méo của ảnh để đưa ảnh về trạng thái phẳng cân bằng, lúc đó, chuyển vị trên vùng đo đặc có thể đo trực tiếp từ hình ảnh đã hiệu chỉnh.

- Tính toán vùng chuyển vị bằng kỹ thuật khớp nối các ảnh biến dạng và ảnh ở trạng thái ban đầu. Ảnh hiệu chỉnh của cùng đo đặc ban đầu được phân chia thành các lưới ô nhỏ, mỗi ô là một đơn vị đo. Mỗi ảnh trên mỗi ô là một ảnh mẫu và dùng để tham khảo để tìm vị trí ảnh mới trên ảnh đã hiệu chỉnh của vùng đo đặc biến dạng. Chuyển vị của điểm giữa của những ô ảnh phản ánh biến dạng trên bề mặt của vùng đo đặc. Việc tính chuyển vị được thực hiện dựa vào chương trình Matlab.

3. Thí nghiệm đo chuyển vị của dầm cao bằng camera

Phần này thực hiện đo chuyển vị của dầm cao có khoét lỗ tại vị trí giữa dầm. Kết quả sẽ được so sánh với chuyển vị đo bằng đồng hồ tại cùng vị trí.

Thực hiện lắp đặt mẫu, lắp đặt camera và chuẩn bị bề mặt mẫu như Hình 2.



Hình 2. Thiết lập thí nghiệm

Chụp hình ô bàn cờ để sử dụng cho việc hiệu chỉnh camera. Thực hiện chụp với 10 cặp hình cho camera trái và phải. Các cặp hình phải được thực hiện cùng một lúc từ thiết bị điều khiển bên ngoài.



Hình 3. Chụp hình ô bàn cờ

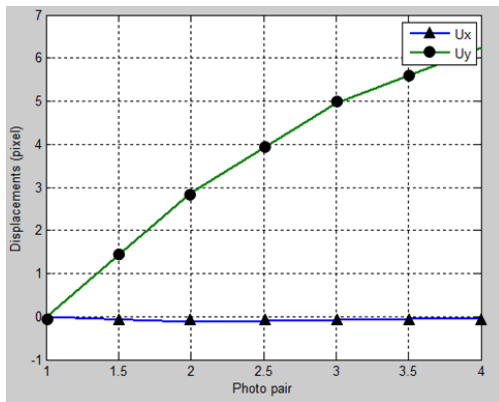
Chụp hình mẫu ở trạng thái không tải và các trạng thái chịu lực ứng với từng cấp tải, các máy ảnh được chụp đồng thời để hạn chế sai số kết quả đo. Chuyển vị tại vị trí giữa dầm dọc từ đồng hồ thu được như sau:

Cặp ảnh	1	2	3	4
Cấp tải (kN)	0,0	24,0	58,6	93,2
Chuyển vị (mm)	0,0	1,15	1,8	2,3



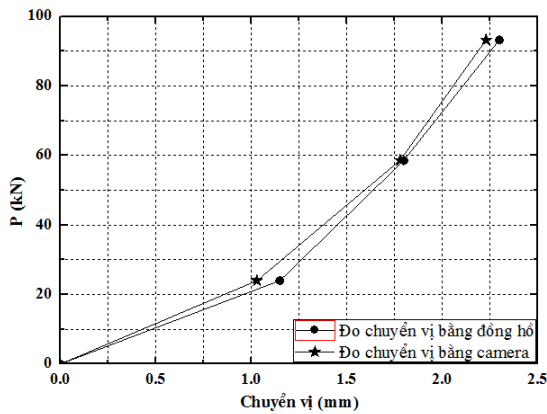
Hình 4. Chọn hệ trục đo chuyển vị

Với các hình ảnh chụp được từ các cấp gia tải, sử dụng Matlab phân tích ảnh xác định được chuyển vị tại điểm giữa của dầm cao (điểm số 8), kết quả chuyển vị xuất ra từ chương trình được đo bằng pixel.



Hình 5. Ví dụ kết quả chuyển vị từ chương trình Matlab

Kết quả chuyển vị đo trực tiếp từ đồng hồ và đo bằng ảnh số dựa vào camera.



Hình 6. So sánh kết quả chuyển vị

Qua đồ thị thấy chuyển vị của 2 phương pháp đo không chênh lệch nhiều, cho thấy được tính chính xác của phương pháp đo chuyển vị dựa vào hình ảnh. Ngoài ra, phương pháp này cho phép trích xuất chuyển vị của bất kì điểm nào trên bề mặt vùng đo.

4. Kết luận

Hiện nay, với sự phổ biến của máy ảnh kỹ thuật số cùng

với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ xử lý ảnh, việc phân tích ảnh để xác định chuyển vị sẽ thay thế cho việc sử dụng các loại cảm biến đo biến dạng như LVDT. Bài báo này cung cấp cái nhìn tổng quan về phương pháp đo biến dạng sử dụng camera cũng như đề xuất quy trình đo chuyển vị sử dụng camera thông thường, cùng bộ công cụ phân tích ảnh dựa vào Matlab, sử dụng thiết bị và quy trình đó để khảo sát chuyển vị của dầm cao có khoét lỗ. Kết quả thí nghiệm cho thấy chuyển vị đo dựa vào camera tương đồng so với đo bằng đồng hồ đo biến dạng. Ngoài ra, phương thức này cho phép người sử dụng xuất chuyển vị của bất kì một điểm nào trên bề mặt cần đo, mà việc sử dụng LVDT hay đồng hồ đo chuyển vị không thực hiện được.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Capéran (2007a), *Personal communication*.
- [2] Capéran (2007b), *Displacement and strain field photogrammetric measurements of a reinforced concrete slab submitted to an Earthquakes loading*, Proceedings of the OPTIMESS 2007 Workshop.
- [3] Capéran (2007c), *A new tracking algorithm with application to a Practical measurement case*, Proceedings of the 8th conference on Optical 3-D measurement techniques.
- [4] Kuo J-C, S. Zaefferer, Z. Zhao, M. Winning and D. Raabe (2003), *Deformation behaviour of aluminium bicrystals*, Advanced Engineering Material 5, pp. 563-566.
- [5] Raffard D., P. Ienny and J.-P. Henry (2001), "Displacement and strain field at a stone /mortar interface by digital image processing", *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 29, No. 2, 2001, pp. 115-122.
- [6] Shih M. H., S. H. Tung, J. C. Kuo and W. P. Sung (2006), *The Application of a Digital Image Correlation Method for Crack Observation*, The Eighth International Conference on Computational Structures Technology.
- [7] Yang Y.-S., C.-W. Huang and C.-I. Wu (2011), *A simple image-based strain measurement method for measuring the strain fields in an RC-wall experiment*, Earthquake Engng Struct Dyn, 2012, 2041:2011–2017.
- [8] Yang Y. S., H. C. Yang, Y. C. Chen, H. J. Lu, C. C. Chang, C. L. Wu and T. T. C. Hsu (2013), *Image Analysis for Crack Observation of a Cylinder RC Structure Cyclic Test*, 6th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, 11th International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology August 1-2, 2015, University of Illinois, Urbana-Champaign, United States.

(BBT nhận bài: 22/05/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 26/05/2017)