

Áp dụng phương pháp tương quan hình ảnh (DIC) trong nghiên cứu ứng xử uốn của dầm bê tông

Phạm Đức Thọ^{1,*}

¹Nhóm nghiên cứu "Địa kỹ thuật, vật liệu và phát triển bền vững" – GCMS, Trường Đại học Mở - Địa chất

TÓM TẮT

Phương pháp phân tích hình ảnh (Digital Image Correlation, DIC) được biết đến từ những năm 80 của thế kỷ trước và hiện đang được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về cơ học vật rắn. DIC là một phương pháp đo không tiếp xúc, được sử dụng trong xử lý ảnh và phân tích hình ảnh để so sánh và tìm ra sự tương đồng giữa hai hình ảnh hoặc các vùng trong một hình ảnh, từ đó cho phép xác định chuyển vị, biến dạng và độ mở rộng vết nứt. Mục đích của nghiên cứu này là xác định ứng xử của dầm bê tông nứt mỗi có kích thước 100x100x400 mm chịu uốn bốn điểm theo chiều sâu khe nứt mỗi. Áp dụng dụng kỹ thuật Tương quan hình ảnh được áp dụng trên bề mặt của dầm bê tông để xác định quan hệ lực – độ võng và lực – độ mở rộng vết nứt.

Từ khóa: dầm nứt mỗi; thí nghiệm uốn dầm bốn điểm; phương pháp tương quan hình ảnh

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, trên thế giới việc nghiên cứu áp dụng các thiết bị công nghệ cao để đo đạc, quan trắc chuyển vị và biến dạng của cấu kiện bê tông là xu hướng mới đang rất được quan tâm nghiên cứu, đặc biệt trong công tác quan trắc, dự báo sự phát triển vết nứt bê tông và đánh giá tính ổn định của công trình xây dựng. Trên thực tế, sự phát triển vết nứt của bê tông có mối liên hệ chặt chẽ với sự biến đổi vị cấu trúc của loại vật liệu này và cần được phân tích ở nhiều cấp độ. Các thiết bị đo đạc truyền thống phổ biến hiện nay như ten sen mét (tensometer) hay LVDT (Linear Variable Differential Transformer) chỉ cho phép đo các giá trị tại bề mặt mà không theo dõi biến dạng được các vị vết nứt, vùng phá hủy cục bộ và các vùng phân bố ứng suất (kéo, nén, trượt...) của cấu kiện bê tông cũng như không đo được sự phát triển của vết nứt theo thời gian. Ngoài ra, khi nhiệt độ quá cao (hoặc quá thấp) các thiết bị truyền thống cho kết quả không chính xác, với các cấu kiện bê tông có hình dạng phức tạp thì việc lắp đặt là hết sức khó khăn.

Công nghệ phân tích hình ảnh được biết đến từ những năm 80 của thế kỷ trước và được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về cơ học vật rắn trong việc xác định mô đun đàn hồi, hệ số Poisson trong thí nghiệm ép chèn Brazil (François HILD et al., 2008). Tuy nhiên gần đây việc nghiên cứu áp dụng công nghệ này trong lĩnh vực xây dựng mới được giới khoa học dành nhiều sự quan tâm, đặc biệt là áp dụng trong việc nghiên cứu nứt của vật liệu, phá hủy của dầm thép khi chịu tải trọng động hay do động đất gây ra, xác định các thông số liên quan đến sự phá hủy của vật liệu Réthoré et al., 2007. Trong đó, công nghệ phân tích hình ảnh DIC là công nghệ rất phù hợp phục vụ cho các nghiên cứu về theo dõi biến dạng và chuyển vị cũng như sự phát triển của vết nứt của bê tông. Dữ liệu đo được từ phương pháp này sẽ làm cơ sở cho việc xây dựng mô hình dự báo tính ổn định của cấu kiện bê tông.

2. Nguyên lý cơ bản của phương pháp DIC

Công nghệ này được thực hiện dựa trên việc bố trí một hay nhiều máy ảnh có độ phân giải cao để chụp một chuỗi liên tục các hình ảnh của cấu kiện bê tông khi chịu tải trọng (**Error! Reference source not found.**). Chuỗi hình ảnh này sẽ được xử lý bằng các thuật toán về tối ưu hóa tương quan hình ảnh trong phần mềm chuyên dụng Ufreckles để từ đó xác định được chuyển vị, biến dạng và sự phát triển của các khe nứt bê tông.

Trường chuyển vị được xác định dựa trên việc phân tích hình ảnh của 2 thời điểm. Chuyển vị tại 1 điểm tương ứng với giá trị chuyển vị trung bình của 1 phần tử có kích thước $M \times N$ pixel (Hình). Việc xác định trường chuyển vị được thực hiện theo 3 bước:

1. Định nghĩa miền nghiên cứu, không cần thiết phải là toàn bộ hình ảnh;

* Tác giả liên hệ

Email: phamductho@humg.edu.vn

2. Chia miền nghiên cứu thành các phần tử có kích thước $M \times N$ pixel;
3. Tìm lại vị trí của các phần tử của hình ảnh khi biến dạng giống nhất với mỗi phần tử tương ứng của hình ảnh ban đầu. Kỹ thuật này được gọi là kỹ thuật tối ưu hóa tương quan hình ảnh.

Thuật toán tối ưu hóa tương quan hình ảnh được phát triển bởi Réthoré et al., 2007. Việc tính toán tối ưu hóa tương quan hình ảnh được thực hiện trên tập hợp pixel giữa hình ảnh ban đầu và hình ảnh biến dạng. Thuật toán này được trình bày chi tiết sau đây:

Cho $f(x,y)$ và $f^*(x^*,y^*)$ là những hàm rời rạc miêu tả hình ảnh ban đầu (thời điểm t_0) có kích thước $M \times N$ pixel và hình ảnh sau (thời điểm t_1). (x,y) và (x^*,y^*) là tọa độ của tâm của hình ảnh ban đầu và biến dạng. Trường chuyển vị u, v của hình ảnh ban đầu thỏa mãn mối quan hệ sau:

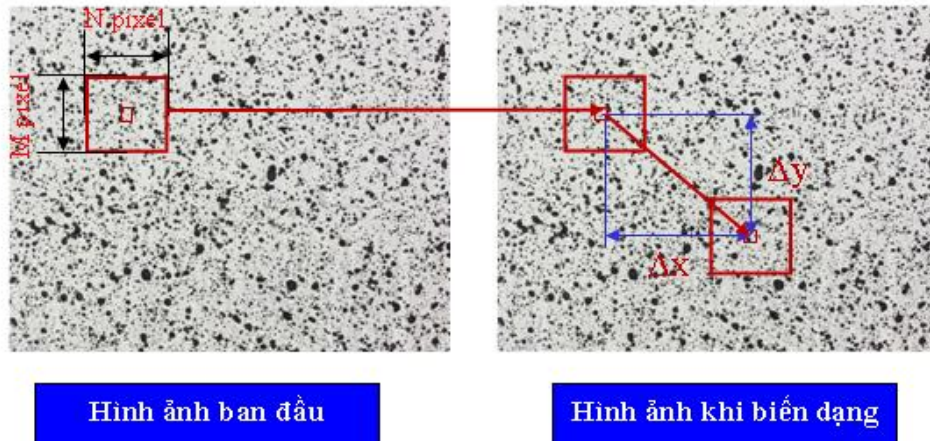
$$f^*(x^* + y^*) - f(x + u(x, y), y + v(x, y)) = 0 \quad (1)$$

Phương trình (1) được giải gần đúng bằng cách tối thiểu hóa phương trình giảm yếu:

$$\eta^2 = \int \int_{\Omega} \Phi^2 dx dy \quad (2)$$

$$\text{Ở đây, } \Phi^2 = \left[f^*(x^* + y^*) - f(x + u(x, y), y + v(x, y)) \right]^2$$

Để xác định gần đúng trường chuyển vị, ta có thể sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để xử lý các dữ liệu cung cấp bởi sự tương quan hình ảnh, chính vì thế mà miền nghiên cứu phải được rời rạc thành các phần tử lưới.



Hình 1. Sơ đồ tương quan hình ảnh

3. Ứng dụng công nghệ DIC trong thí nghiệm từ biến của uốn dầm 4 điểm

3.1. Thực nghiệm chế tạo dầm bê tông

Thành phần cấp phối của bê tông được thiết kế theo tiêu chuẩn ACI211.1-91 và được trình bày trong Bảng 1. Hỗn hợp bê tông sử dụng sợi thép đầu có móc có chiều dài 30mm và đường kính 0,38mm (Dramix 3D80 [30/0.38]).

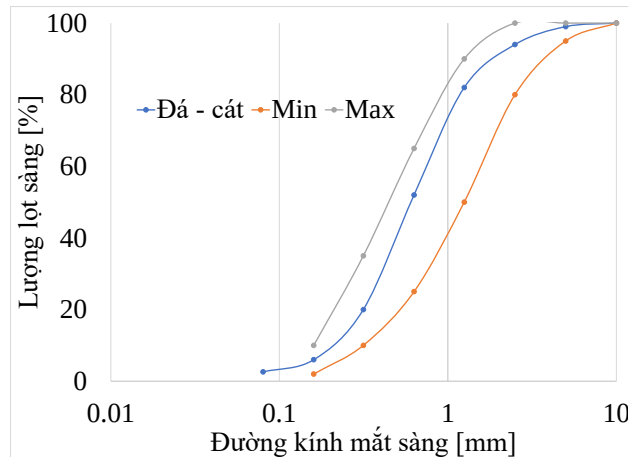
Bảng 1. Thành phần cấp phối của bê tông

Loại bê tông	Xi măng (kg)	Cát (kg)	Cốt liệu lớn (kg)	Nước (kg)	N/X	Sợi thép (kg)
C50	530	750	720	265	0.5	80

Sự phân bố cỡ hạt của cốt liệu và cát được sử dụng cho hỗn hợp bê tông được thể hiện trong Hình 2. Xi măng sử dụng là loại hỗn hợp chứa 10% silica fume. Các mẫu bê tông được tháo khuôn sau 24 giờ và được bảo dưỡng trong nước 28 ngày trước khi làm thí nghiệm. Thí nghiệm cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi được tiến hành trên mẫu hình trụ có đường kính 100mm và chiều cao 200mm, theo tiêu chuẩn ASTM. Bảng 2 trình bày một số đặc trưng cơ học của vật liệu ở 28 ngày, bao gồm giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của mô đun Young E và cường độ nén f_c .

Bảng 2. Tính chất cơ học của bê tông

Cấp bê tông	Mô đun đàn hồi E [GPa]	Cường độ chịu nén f_c [MPa]
C50	34.2±2.0	46.5±1.0



Hình 2. Đường cong cấp phối của cốt liệu

3.2. Ứng dụng công nghệ DIC trong thí nghiệm từ biến của uốn dầm 4 điểm

Trong thí nghiệm này, dầm nứt mỗi chịu uốn 4 điểm, dưới tác dụng của tải trọng không đổi. Dầm được chịu tải trọng đến khi phá hoại hoàn toàn, quá trình gia tải được kiểm soát bởi chuyển vị. Độ mở rộng của vết nứt của khe nứt mỗi và độ võng tại giữa dầm được đo theo thời gian và theo tải trọng tác dụng. Hệ thống dùng để đo được trình bày như trong Hình 2a. Máy ảnh Nikon 1100D được bố trí để chụp liên tục bề mặt của dầm bê tông (Hình 2b), cứ mỗi 20 phút hình ảnh được lưu lại để xử lý đo chuyển vị.



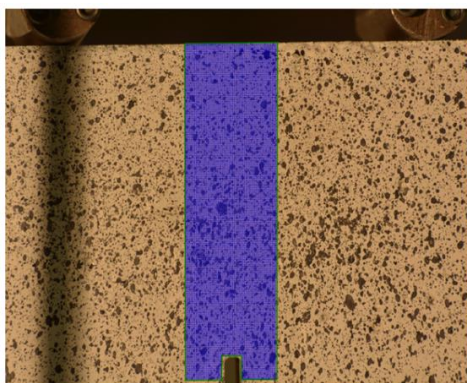
a)



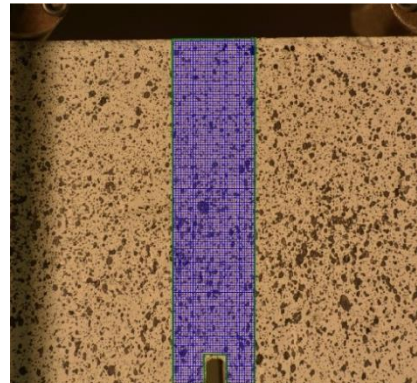
b)

Hình 3. a) Các thiết bị dùng để đo chuyển bằng DIC; b) Dầm chịu uốn 4 điểm

Các hình ảnh thu được được xử lý trong phần mềm Ufreckles. Việc chia lưới chỉ thực hiện ở giữa dầm để giảm thời gian tính toán. Hai kích thước của lưới được sử dụng là $L = 16$ pixel (Hình 1a) và $L = 24$ pixel (Hình 1b). Chuyển vị cũng được biểu diễn bằng pixel, sau đó quy đổi pixel bằng đơn vị đo dài tương đương. Độ mở rộng của vết nứt được xác định bằng chuyển vị tương đối của 2 điểm bên phải và trái của vết nứt mỗi.



a)



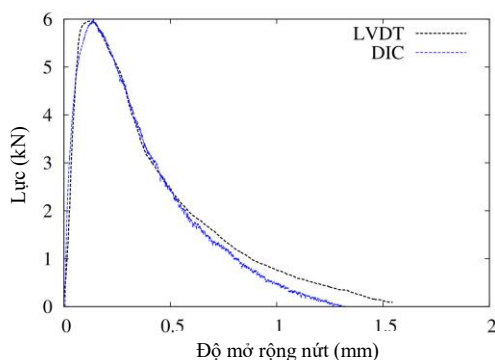
b)

Hình 1. Chia lưới miền nghiên cứu; a) $L = 16$ pixel; b) $L = 24$ pixel

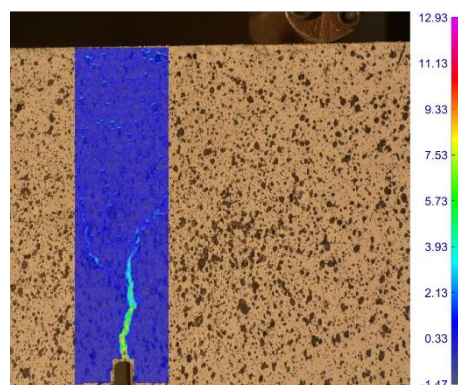
Độ mở rộng vết nứt và độ võng ở giữa dầm theo thời gian được thể hiện trong **Error! Reference source not found.a** và **Error! Reference source not found.b**. Có thể nhận thấy độ mở rộng vết nứt và độ võng tăng nhanh trong thời gian 4 ngày đầu, sau đó tốc độ tăng không đổi. Hiện tượng này có thể giải thích do sự phân bố lại ứng suất sau khi chất tải trọng lên dầm. Kết quả so sánh ảnh hưởng của chiều dài phần tử cũng cho thấy ảnh hưởng của chiều dài có thể bỏ qua.

4. Kết quả và thảo luận

Biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và độ mở rộng vết nứt của các mẫu dầm bê tông thí nghiệm xác định theo hai phương pháp đo được trình bày ở Hình 4a. Kết quả đo cho thấy số liệu đo chuyển vị bằng phương pháp DIC và bằng dụng cụ đo LVDT có sự tương đồng và đều phản ánh được cái giai đoạn làm việc chính của dầm dưới tác dụng của tải trọng tăng dần đến khi phá hoại. Có sự sai lệch kết quả đo trong giai đoạn phá hủy, tuy nhiên kết quả sai lệch không đáng kể, khoảng 5% Hình 4b thể hiện trường chuyển vị đo được bằng DIC, phương pháp này ngoài đo mở rộng nứt, độ võng còn có thể cho phép xác định chính xác vị trí vết nứt cũng như sự hình thành và phát triển nứt.



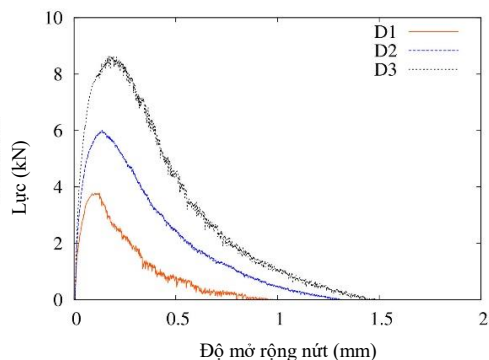
a)



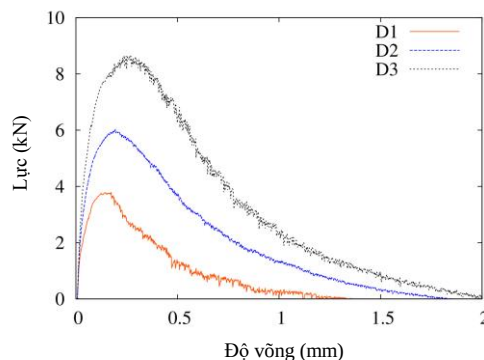
b)

Hình 2. a) Lực – độ mở rộng vết nứt; b) Trường chuyển vị

Hình 5 thể hiện ứng xử của dầm chịu uốn cho các trường hợp chiều sâu nứt mỗi 3cm (dầm D3), 5cm (dầm D2) và 7cm (dầm D1). Khi chiều sâu nứt mỗi tăng từ 3 đến 7cm thì lực giảm từ 8.5 kN đến 3.8kN. Kết quả cho thấy chiều sâu vết nứt mỗi có ảnh hưởng lớn đến ứng xử Lực – độ võng và Lực- độ mở rộng nứt. Nhìn chung phương pháp DIC cho phép đo khá tốt độ võng và độ mở rộng nứt.



a)



b)

Hình 3. a) Lực – độ mở rộng vết nứt; b) Lực – độ võng

4. Kết luận

Nội dung bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm sử dụng phương pháp tương quan hình ảnh DIC để xác định ứng xử của dầm bê tông nứt mỗi chịu uốn 4 điểm. Ứng xử chịu uốn thông qua mối quan hệ Lực – độ mở rộng vết nứt của của phương pháp này được so sánh với kết quả đo được bằng dụng cụ đo LVDT. Từ các kết quả thu được, có thể rút ra một số những kết luận chính sau:

- Phương pháp tương quan hình ảnh DIC có thể đo chính xác độ võng và độ mở rộng vết nứt của dầm bê tông chịu uốn 4 điểm, chênh lệch kết quả đo độ mở rộng vết nứt bằng LVDT và bằng phương pháp DIC không đáng kể và nhỏ hơn 5% ở giai đoạn phá hủy.
- Phương pháp tương quan hình ảnh DIC cho phép quan sát sự hình thành và phát triển nứt và các vị trí vết

nứt phát triển quanh vết nứt lớn, điều này do sự không đồng nhất trong bê tông và giúp giải thích sự gia tăng tính thấm. Kết quả nghiên cứu này cho phép áp dụng Phương pháp DIC trong điều kiện phức tạp (nhiệt độ, độ ẩm cao) mà các thiết bị truyền thống ko thể đo được.

Tài liệu tham khảo

François HILD, Nicolas MALESYS, Julien RETHORE, Stéphane ROUX. Application de la corrélation d'images : identification de paramètres élastiques, 2007. ENS. Paris-Saclay - éducol STI.

Réthoré, J., Hild, F., Roux, S. Shear-band capturing using a multiscale extended digital image correlation technique. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 2007. 196, 5016–5030.

Réthoré, J., Roux, S., Hild, F., 2007. From pictures to extended finite elements: extended digital image correlation (X-DIC). *Comptes Rendus Mécanique* 335, 131–137.

ABSTRACT

Application of Digital Image Correlation (DIC) in studying the bending behavior of concrete beams

Pham Duc Tho¹

¹*Geotechnical engineering, Construction Materials and Sustainability Research Group,
Hanoi University of Mining and Geology, VietNam*

Image analysis techniques have been known since the 1980s and are now widely used in solid mechanics research. Digital Image Correlation (DIC) is a non-contact measurement method used in image processing and analysis to compare and identify similarities between two images or regions within an image. This allows the determination of displacement, strain, and crack propagation. The aim of this study is to determine the behavior of pre-cracked concrete beams with dimensions of 100x100x400mm subjected to four-point bending, focusing on the crack depth. The Image Correlation technique is applied to the surface of the concrete beam to establish the force-deflection and force-crack propagation relationships.

Keywords: notched beam; four point bending test; DIC