

PHÂN TÍCH PHI TUYẾN KẾT CẤU DẦM CAO BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ KHOÉT LỖ RỔNG

TS. CHU THỊ BÌNH

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả phân tích kết cấu dầm cao bê tông cốt thép có khoét lỗ rỗng. Thông số được khảo sát là vị trí lỗ khoét. Phần mềm phân tích phi tuyến kết cấu SAFIR được sử dụng. Mô hình mô phỏng dầm được kiểm chứng bằng cách so sánh kết quả tính toán và kết quả thí nghiệm. Kết quả khảo sát thông số cho thấy khi vị trí lỗ khoét xa đường truyền tải thì khả năng chịu lực của dầm không bị giảm so với dầm không khoét lỗ.

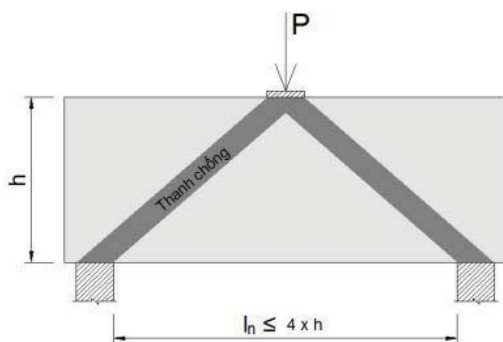
Abstract: This paper presents the results of structural analysis of reinforced concrete deep beams with openings. The investigation parameter is the location of opening. Nonlinear structural analysis computer code SAFIR is used in simulation. Verifying works have been done for models using SAFIR code. Results from parametric studies show that when the location of the opening is far from the load path, the load resistance of the beam, with opening is similar to that of the solid beam.

1. Giới thiệu chung

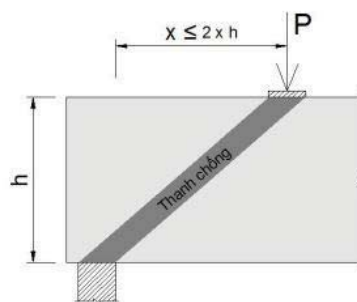
Dầm được gọi là dầm cao (Deep Beam) khi mang một trong các đặc điểm sau đây [1]: tỉ số giữa

nhịp thông thủy và chiều cao dầm bé hơn hoặc bằng 4; trên dầm xuất hiện tải trọng tập trung trong khoảng bé hơn 2 lần chiều cao dầm tính từ mép gối đỡ.

Dưới tác dụng của tải trọng, trong dầm hình thành các thanh chống chịu nén nối giữa vị trí đặt tải trọng và gối đỡ (hình 1). Đối với các cấu kiện dầm thông thường, chúng ta thường sử dụng giả thiết biến dạng phẳng để lập sơ đồ ứng suất cho tiết diện và giải bài toán tính toán cốt thép dựa trên các sơ đồ ứng suất tại trạng thái phá hoại. Tuy nhiên, đối với dầm cao giả thiết về biến dạng phẳng trong lý thuyết uốn không còn đúng nữa. Để tính toán dầm cao phải sử dụng phương pháp phân tích với phân bố biến dạng phi tuyến, hoặc quy về đơn giản bằng cách sử dụng mô hình giàn ảo (strut-and-tie method).



Trường hợp 1



Trường hợp 2

Hình 1. Các trường hợp định nghĩa của dầm cao

Với các dầm cao có khoét lỗ cho các đường ống kỹ thuật chạy qua, phân bố ứng suất biến dạng trong dầm càng trở nên phức tạp. Dựa trên các thí nghiệm được công bố tại tài liệu [2], tác giả đã sử dụng phần mềm phân tích phi tuyến kết cấu SAFIR để mô phỏng dầm có kể đến tính phi tuyến của vật liệu. Kết quả mô phỏng tương đối trùng khớp với

kết quả thí nghiệm. Dùng mô hình vừa kiểm chứng, dầm cao bê tông được khảo sát với các vị trí lỗ khoét thay đổi.

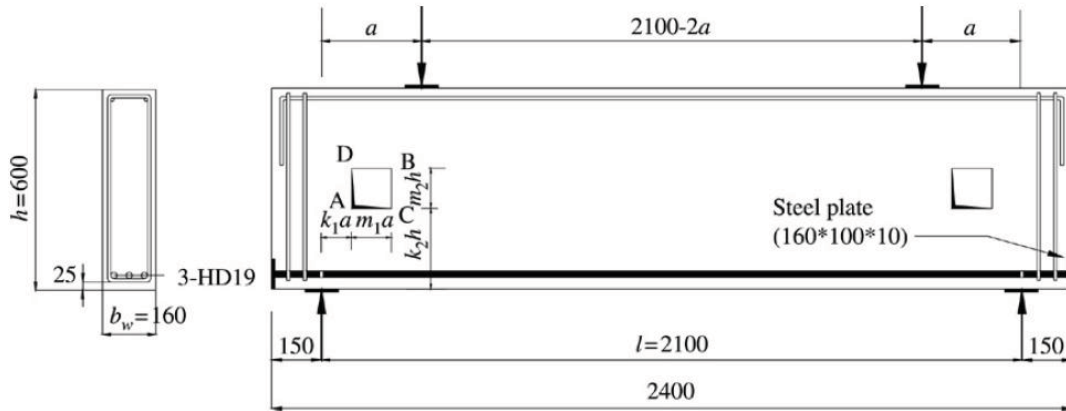
2. Mô phỏng dầm bằng phần mềm SAFIR

SAFIR là phần mềm máy tính được phát triển tại trường đại học Liège – Vương quốc Bỉ với mục

đích phân tích phi tuyến kết cấu trong điều kiện cháy. Để tính kết cấu trong nhiệt độ thường, ta cho nhiệt độ luôn không đổi là 20°C. Chi tiết hơn xem tài liệu [3,4]. Phần mềm này đã được kiểm chứng qua nhiều nghiên cứu đã được công bố [5,6,7]. SAFIR

hiện được dùng trên 120 trường đại học và trung tâm nghiên cứu trên thế giới. Khoảng 70 trung tâm thiết kế cũng đang sử dụng phần mềm này.

Nghiên cứu này mô phỏng dầm với các lỗ khoét có kích thước như hình 2.



Hình 2. Các kích thước của dầm

Các dầm đều có tiết diện 160x600 mm, dài 2.4m, khoảng cách giữa hai gối tựa đơn là 2.1m. Cốt dọc trong dầm là 3 thanh đường kính 19mm. Để nghiên cứu ảnh hưởng của các lỗ khoét, cốt đai không được bố trí trong đoạn

dầm có lực cắt, chỉ có hai cốt đai ở mỗi đầu dầm.

Các thông số: k_1a , m_1a , k_2h , m_2h , f_c' và a thay đổi như trong bảng 1 trong đó f_c' là cường độ chịu nén mẫu trụ của bê tông.

Bảng 1. Các thông số của các mẫu thí nghiệm

Tên mẫu thí nghiệm	k_1a	m_1a	k_2h	m_2h	f_y	f_c'	a
	mm	mm	mm	mm	MPa	MPa	mm
UH5F1	75	150	270	60	420	80.4	300
UH5F2	75	150	240	120	420	80.4	300
UH5F3	75	150	210	180	420	80.4	300
H5F1	75	150	270	60	420	52.9	300
H5F2	75	150	240	120	420	52.9	300
H5F3	75	150	210	180	420	52.9	300
L5F3C	75	150	210	180	420	23.5	300
H10T3	225	150	210	180	420	52.9	600
UH10T3	225	150	210	180	420	80.4	600
UH15F3	225	450	210	180	420	80.4	900

Các dầm chỉ được mô phỏng một nửa nhịp do tính chất đối xứng của dầm (hình 3). Các bản thép kích thước 160*100*10 mm được đặt tại các gối tựa và vị trí đặt tải để tránh ứng suất tập trung. Trong mô phỏng, tải trọng và điểm đặt gối tựa cũng được dàn đều thành 3 điểm với khoảng cách giữa các điểm là 50 mm.

Tài liệu [2] không nêu rõ loại cốt dọc phía trên và cốt đai đầu dầm. Trong mô phỏng tạm lấy cốt dọc phía trên là 2φ12 và cốt đai là 2 đai φ6 mỗi đầu dầm. Để đánh giá ảnh hưởng của hai loại cốt thép này tới khả năng chịu lực của dầm, các mô phỏng đã được tiến hành với sự thay đổi cường độ của cốt dọc phía trên và cốt đai. Kết quả mô phỏng cho thấy

ảnh hưởng của chúng là không đáng kể do ứng suất ở hai loại cốt thép này còn rất nhỏ khi đảm bị phá hoại.

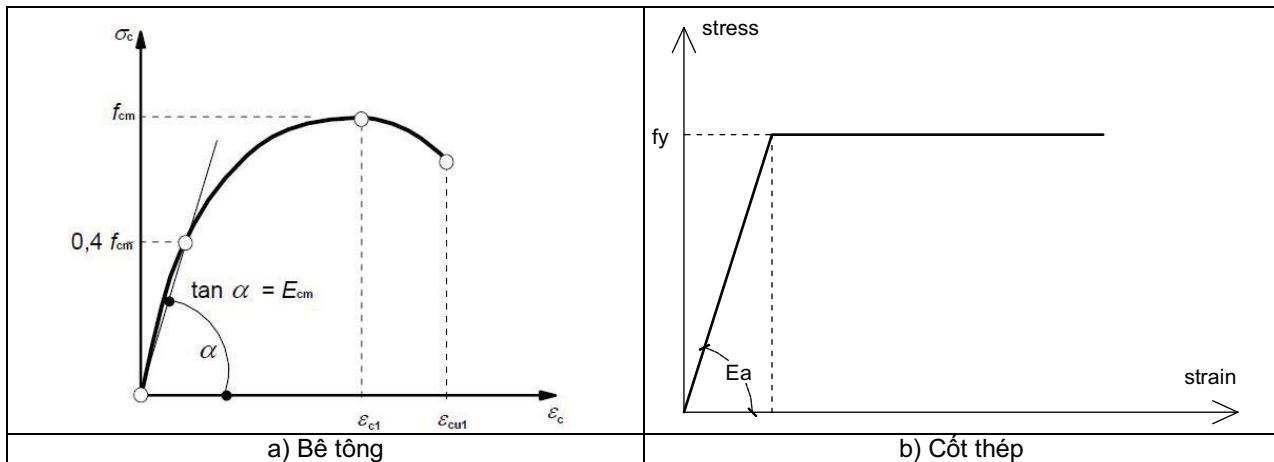
Mô hình ứng suất- biến dạng của bê tông và cốt thép là phi tuyến theo tiêu chuẩn Eurocodes [8,9]. Quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu chịu kéo, nén một trục có dạng như hình 3.

Trong phần tử shell, mô hình vật liệu chịu nén hoặc kéo 2 trục được chọn sao cho tương thích với đường ứng suất - biến dạng một trục giới thiệu trong tiêu chuẩn châu Âu (hình 3a). Các ứng suất

và biến dạng theo 2 trục được quy đổi thành ứng suất quy đổi σ_{eq} và biến dạng quy đổi $\varepsilon_{pl,eq}$. Quan hệ giữa ứng suất và biến dạng quy đổi như sau:

$$\left(\frac{3\varepsilon_{pl,eq} / \varepsilon_{c1} - 1}{1.0004} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{eq}}{f_{cm}} \right)^6 = 0 \quad (1)$$

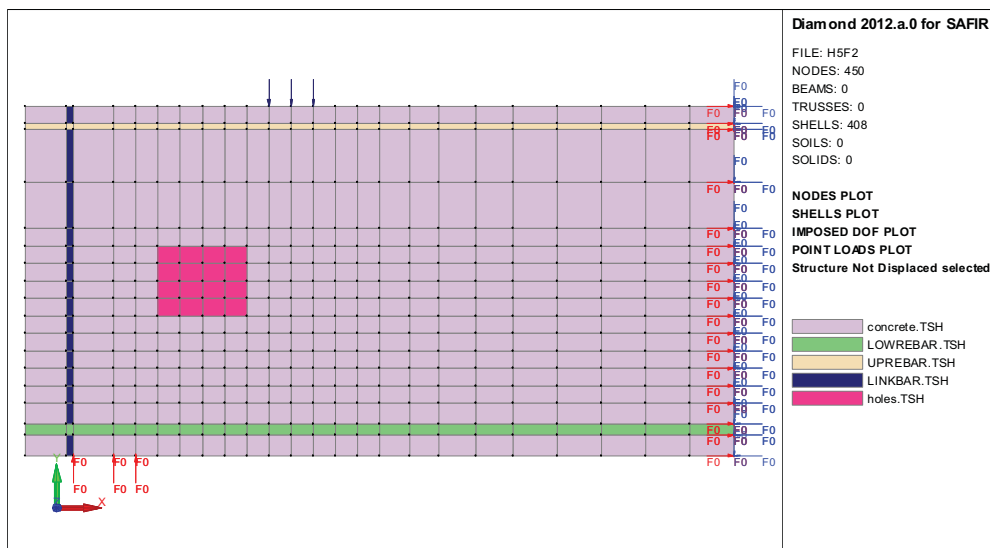
Trong đó ε_{c1} là biến dạng tại đỉnh và f_{cm} là cường độ của bê tông khi chịu nén một trục (hình 3a). Tiêu chuẩn chảy dẻo Von Mises được dùng cho nhánh chịu nén. Nhánh chịu kéo dùng tiêu chuẩn Rankine cut off. Chi tiết xem tài liệu [7].



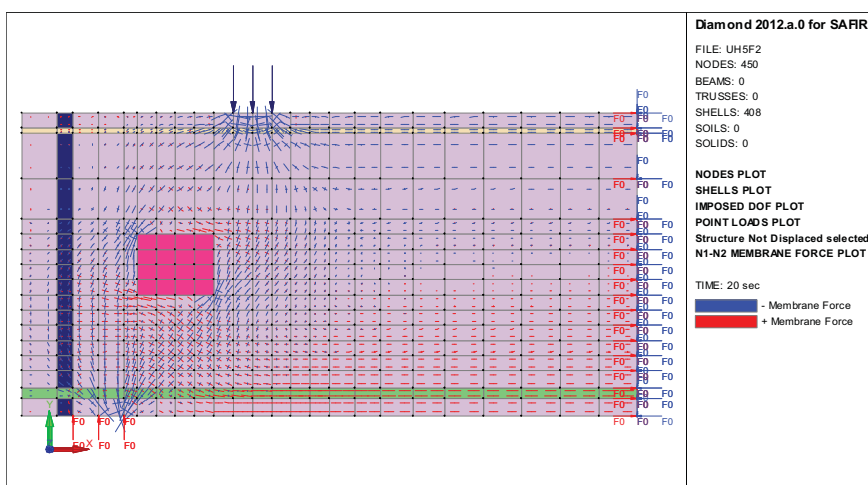
Hình 3. Quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu bê tông và cốt thép

Qua mô phỏng có phân bố ứng suất trong dầm như hình 4. Trong mỗi phần tử shell có hiển thị phương của ứng suất chính tại 4 điểm. Ứng suất màu đậm (xanh) là ứng suất nén chính, màu nhạt (đỏ) là ứng suất kéo chính. Vết nứt trong dầm hình thành do ứng suất kéo

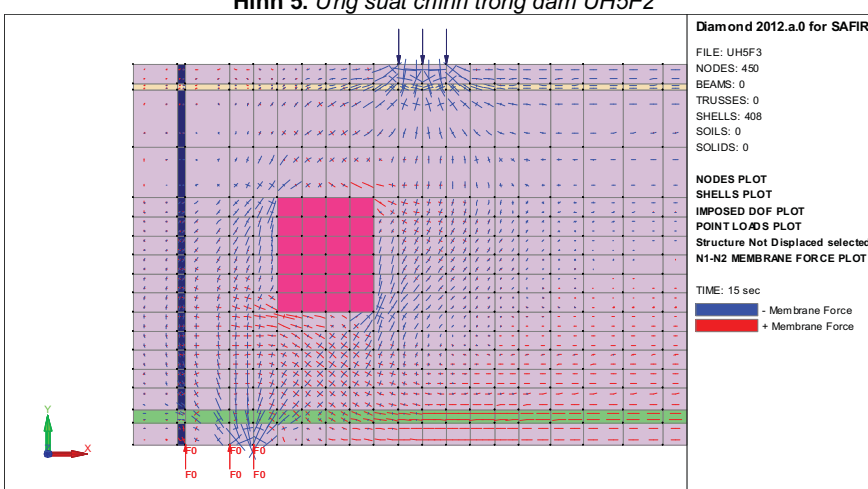
vượt quá cường độ nên vết nứt có phương vuông góc với phương của ứng suất kéo chính. Kết quả mô phỏng cho thấy phương của ứng suất kéo chính (nét màu đỏ trong hình 5 và hình 6) tương đối phù hợp với hình ảnh các vết nứt đo được (hình 7).



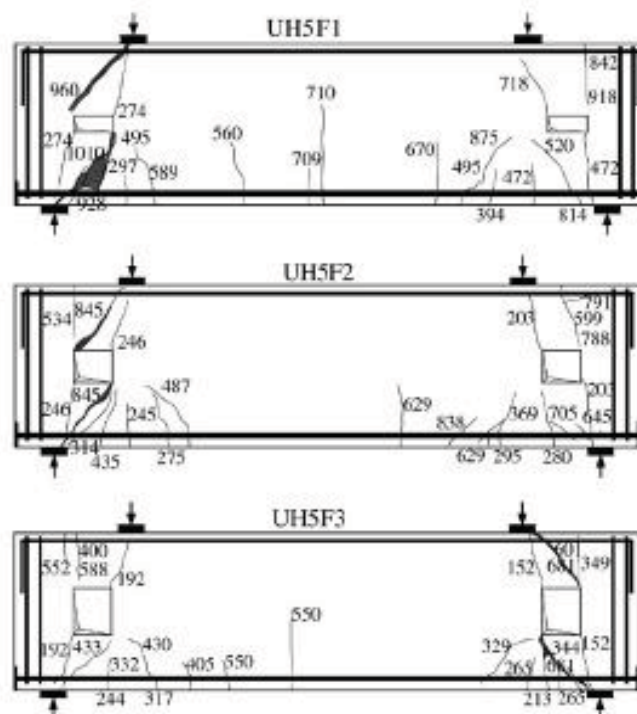
Hình 4. Hình ảnh mô phỏng dầm UH5F2



Hình 5. Ứng suất chính trong dầm UH5F2



Hình 6. Ứng suất chính tại các điểm quanh lỗ khoét của dầm UH5F3



Hình 7. Hình ảnh các vết nứt ở dầm thí nghiệm [2]

3. So sánh kết quả mô phỏng số và kết quả thí nghiệm

Do thí nghiệm không xác định cường độ chịu kéo của bê tông (f_{ct}) nên mô phỏng dùng liên hệ giữa cường độ chịu kéo và chịu nén theo tiêu chuẩn

châu Âu để xác định f_{ct} . Trong bảng 2: V_{solid} là lực tính toán gây phá hoại dầm không có lỗ khoét; V_{open} là lực tính toán gây phá hoại dầm có lỗ khoét, $V_{ex,o}$ là lực phá hoại xác định trong thí nghiệm với dầm có lỗ khoét.

Bảng 2. So sánh kết quả mô phỏng và thí nghiệm

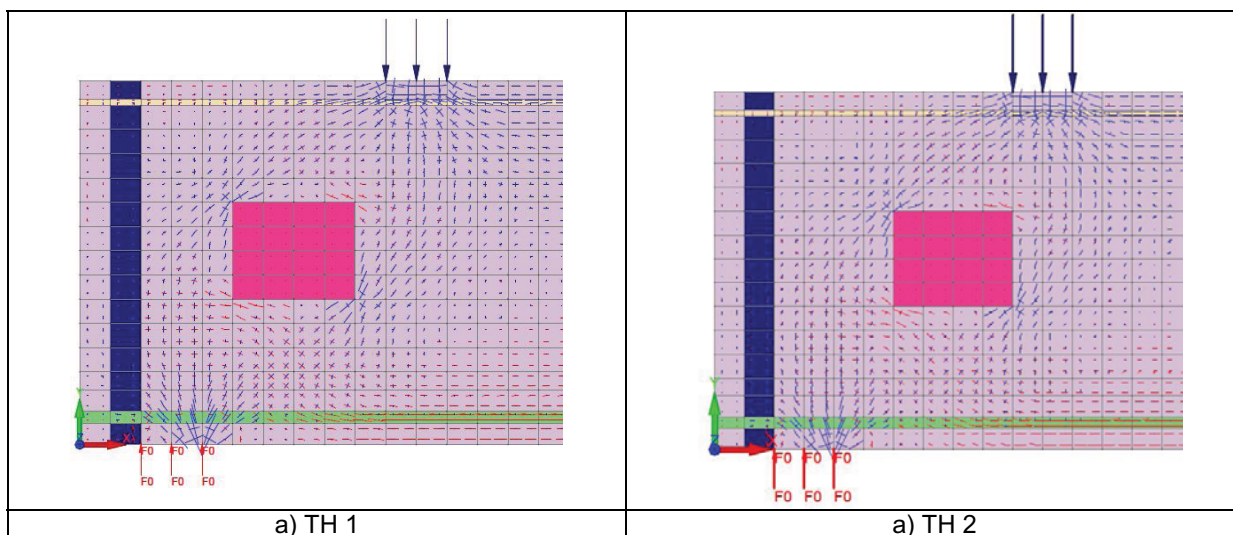
Tên mẫu thí nghiệm	Kết quả mô phỏng (KN)		Kết quả thí nghiệm (KN)	Tỉ lệ	
	cho dầm đặc	cho dầm có lỗ	cho dầm có lỗ	V_{open} / V_{solid}	$V_{open} / V_{ex,o}$
	V_{solid}	V_{open}	$V_{ex,o}$		
UH5F1	402	381	514.5	95%	74%
UH5F2	402	348	419.4	87%	83%
UH5F3	402	276	339.1	69%	81%
H5F1	357	318	466.3	89%	68%
H5F2	357	297	347.9	83%	85%
H5F3	357	237	288.6	66%	82%
L5F3C	306	153	233.2	50%	66%
H10T3	183	168	163.2	92%	103%
UH10T3	243	192	185	79%	104%
UH15F3	168	93	94.8	55%	98%

Do số liệu thí nghiệm của nghiên cứu khác cung cấp hạn chế nên nghiên cứu này chỉ so sánh được dầm mô phỏng và dầm thí nghiệm ở trạng thái giới hạn, không có số liệu thí nghiệm trong quá trình gia tải. Kết quả ở bảng 2 cho thấy kết quả tính toán bằng mô phỏng số tương đối phù hợp với kết quả thực nghiệm, chứng tỏ mô hình mô phỏng số là tin cậy được.

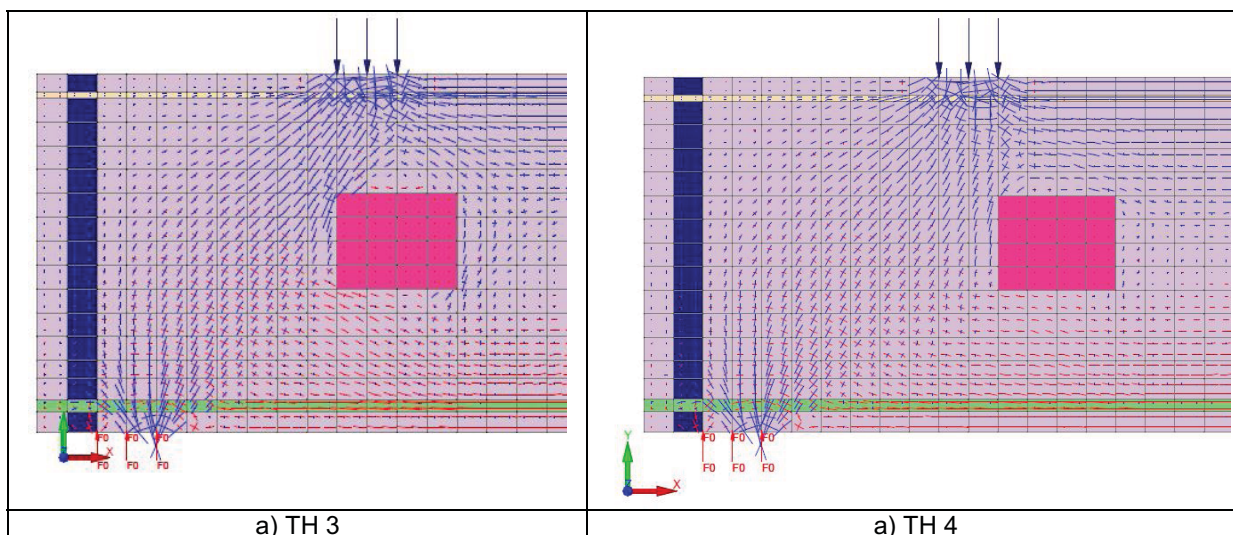
4. Nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí lỗ khoét

Dùng phần mềm SAFIR, nghiên cứu này mô phỏng thêm nhiều dầm để khảo sát ảnh hưởng của vị trí lỗ khoét đến khả năng chịu tải của dầm cao. Các dầm mô phỏng có cấu tạo giống dầm thí nghiệm trình bày ở phần 3 nhưng kích thước lỗ khoét không thay đổi (200mm*160mm). Vị trí lỗ

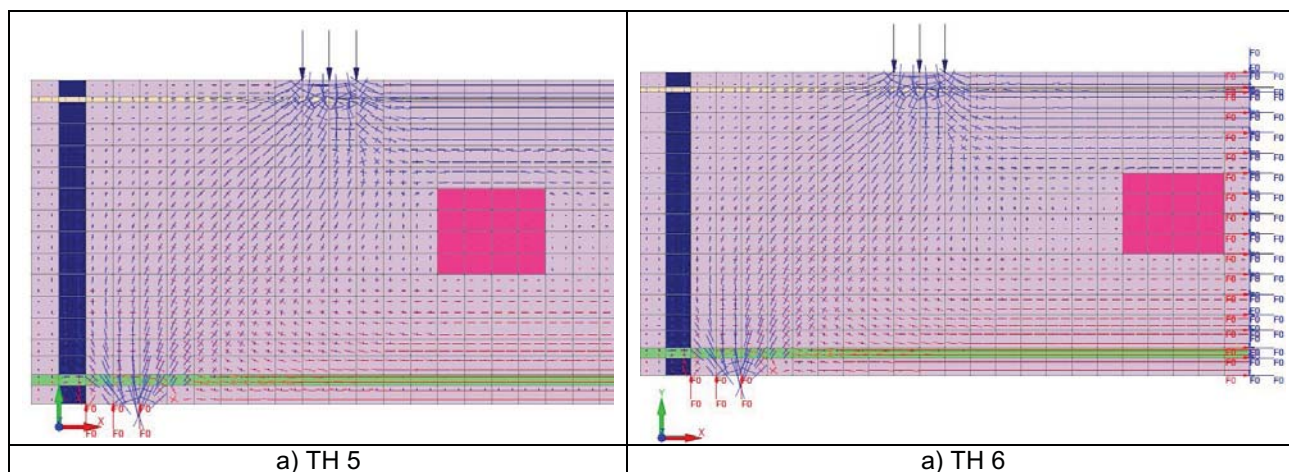
khoét thay đổi từ 100mm đến 750mm tính từ gối tựa đến mép lỗ (xem hình 2 và bảng 3). Như vậy các trường hợp (TH) 1, 2 là có lỗ khoét cắt qua đường nối giữa tải trọng và gối tựa. Từ TH 3 đến TH 6 lỗ khoét cách đường nối tải trọng và gối tựa theo khoảng cách xa dần. Các mẫu này không có kết quả thí nghiệm nên đặt tên dầm theo cách thức khác với các phần trên. Hình ảnh phân bố ứng suất chính trong dầm xem từ hình 8 đến 10. Có thể nhận thấy rằng ở TH 1 và 2 lỗ khoét cắt qua đường nối tải trọng và gối tựa (thanh chống trong mô hình dàn ảo của dầm đặc) thì các vị trí quanh lỗ khoét lại tạo thành các thanh chống khác cũng có xu hướng nổi từ tải trọng đến gối tựa. Như vậy việc áp dụng mô hình giàn ảo trong thiết kế dầm cao là hợp lý.



Hình 8. Ứng suất chính trong dầm TH 1 và 2



Hình 9. Ứng suất chính trong dầm TH 3 và 4



Hình 10. Ứng suất chính trong dầm TH 5 và 6

Kết quả tính tải trọng giới hạn của dầm (bảng 3) cho thấy khi lỗ khoét cắt qua đường nối tải

trọng và gối tựa thì dầm bị giảm khả năng chịu lực nhưng mức độ giảm cũng không quá 25% tải

trọng giới hạn của dầm đặc (TH 1 và TH 2). Khi lỗ khoét đã nằm ngoài đường nối tải trọng và gối tựa nhưng vẫn gần điểm đặt tải thì khả năng

chịu lực của dầm vẫn ảnh hưởng bởi lỗ khoét (TH 3 và TH 4) nhưng ảnh hưởng ít (giảm khả năng chịu lực dưới 10%).

Bảng 3. Các thông số của các mẫu làm mô phỏng số và kết quả tính toán

Tên mẫu thí nghiệm	$k_1 a$	$m_1 a$	$k_2 h$	$m_2 h$	Tải trọng giới hạn (KN)		V_{open} / V_{solid}
	mm	mm	mm	mm	cho dầm đặc V_{solid}	cho dầm có lỗ V_{open}	
TH 1	100	200	240	160	297	225	76%
TH 2	150	200	240	160	297	258	87%
TH 3	350	200	240	160	297	273	92%
TH 4	450	200	240	160	297	291	98%
TH 5	600	200	240	160	297	297	100%
TH 6	750	200	240	160	297	297	100%

5. Kết luận

- Có thể dùng phần mềm SAFIR để làm thực nghiệm số nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số đến ứng xử của dầm cao bê tông cốt thép có khoét lỗ. Đây là gợi ý cho các nghiên cứu tiếp theo về ảnh hưởng của cường độ chịu kéo của bê tông, ảnh hưởng của cốt dọc cốt đai, cách chọn mô hình đàn ảo (strut and tie) trong thiết kế...;
- Vị trí lỗ khoét ảnh hưởng rõ rệt đến sự phân bố ứng suất trong dầm dẫn đến ảnh hưởng đến khả năng chịu tải. Khi lỗ khoét cắt qua đường nối tải trọng và gối tựa thì tải trọng giới hạn của dầm giảm so với dầm đặc. Mức độ giảm phụ thuộc vào vị trí lỗ khoét và kích thước lỗ khoét;
- Khi lỗ khoét đã nằm ngoài đường nối tải trọng và gối tựa nhưng vẫn gần điểm đặt tải thì khả năng chịu lực của dầm vẫn ảnh hưởng bởi lỗ khoét (TH 3 và TH 4) nhưng ảnh hưởng ít;
- Khi lỗ khoét ở cách xa vị trí đặt tải trọng (TH 5 và TH 6) thì khả năng chịu lực của dầm không giảm so với dầm đặc. Nhận xét này phù hợp với các công bố ở tài liệu [10].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary.
- [2] Keun-Hyeok Yang, Hee-Chang Eun, Heon-Soo Chung (2006) The influence of web openings on the structural behavior of reinforced high-strength concrete deep beams, *Engineering Structures*, Volume 28, Issue 13, Pages 1825-1834.
- [3] Franssen J.M.,(1997) Contributions à la modélisation des incendies dans les bâtiments et de leurs effets

sur les structures. *Thèse d'agrégation, Univ. of Liege, F.S.A.*

- [4] Franssen J.M.,(2005) SAFIR. A Thermal/Structural Program Modelling Structures under Fire, *Engineering Journal, A.I.S.C.*, 42. (3).
- [5] Franssen J.M., Schleich J.-B., Cajot L.-G., Talamona D., Zhao B., Twilt L. & Both K., (1994) A comparison between five structural fire codes applied to steel elements, *Proc. Fourth International Symposium on Fire Safety Science, Ottawa, Kashiwagi, T, ed., Gaithersburg, 1125-1136.*
- [6] Pintea D. & Franssen J.M., (1997) Evaluation of the thermal part of the code SAFIR by comparison with the code TASEF, *Proc. 8 th Int. Conf. Steel Structures, M. Ivan ed., MIRTON, Timisoara, 636-643.*
- [7] Lim Linus, Andrew Buchanan, Peter Moss, Jean-Marc Franssen (2004), Numerical modelling of two-way reinforced concrete slabs in fire, *Engineering Structures, Volume 26, Issue 8, Pages 1081-1091.*
- [8] EN 1992-1-1 (2004): Eurocode 2- Design of concrete structures - Part 1.1: General rules- and rules for buildings, *European committee for Standardization.*
- [9] EN 1992-1-2 (2004): Eurocode 2- Design of concrete structures - Part 1.2: General rules- structural fire design, *European committee for Standardization.*
- [10] Giuseppe Campione, Giovanni Minafò (2012), Behaviour of concrete deep beams with openings and low shear span-to-depth ratio, *Engineering Structures, Volume 41, Pages 294-306.*

Ngày nhận bài: 27/7/2017.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 28/8/2017.