

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM CỘT ỐNG THÉP NHỒI BÊ TÔNG TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY

TS. CHU THỊ BÌNH

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

Tóm tắt: *Cột ống thép nhồi bê tông có khả năng chịu tải trọng lớn nên được sử dụng trong các công trình cao tầng. Thí nghiệm xác định ứng xử khi chịu cháy của cột ống thép nhồi bê tông tự đầm có thép hình làm cốt được tiến hành tại trường Đại học Liège – Vương quốc Bỉ. Phần mềm phân tích phi tuyến kết cấu SAFIR được dùng để mô phỏng phân tích nhiệt và ứng xử cơ học của cột thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm và kết quả mô phỏng số tương đối sát nhau. Chứng tỏ phần mềm SAFIR có thể mô phỏng tương đối chính xác sự làm việc của cột ống thép nhồi bê tông khi chịu cháy. Bài báo này công bố các kết quả thí nghiệm và mô phỏng của đề tài nghiên cứu thực nghiệm này.*

1. Giới thiệu

Cột thép ống nhồi bê tông là một loại cấu kiện liên hợp thép-bê tông ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng và giao thông do nó kết hợp được các ưu điểm của kết cấu bê tông và kết cấu thép. Ngoài các ưu điểm nổi trội như khả năng chịu tải lớn, chịu tải trọng động tốt, thi công nhanh, ... loại cột này còn có ưu điểm so với cột thép là khả năng chịu cháy cao. Thông thường, cột ống thép được nhồi bên trong là bê tông kết hợp cốt dọc mềm hoặc thép hình. Khi lượng thép dọc hoặc thép hình bên trong ống thép nhiều, việc nhồi bê tông có thể gặp khó khăn. Trong trường hợp này, dùng bê tông tự đầm là một giải pháp tốt.

Bài báo này công bố kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định khả năng chịu cháy của cột ống thép nhồi bê tông. Đây là một phần trong một dự án nghiên cứu được tiến hành tại trường Đại học Liege- Vương quốc Bỉ [1].

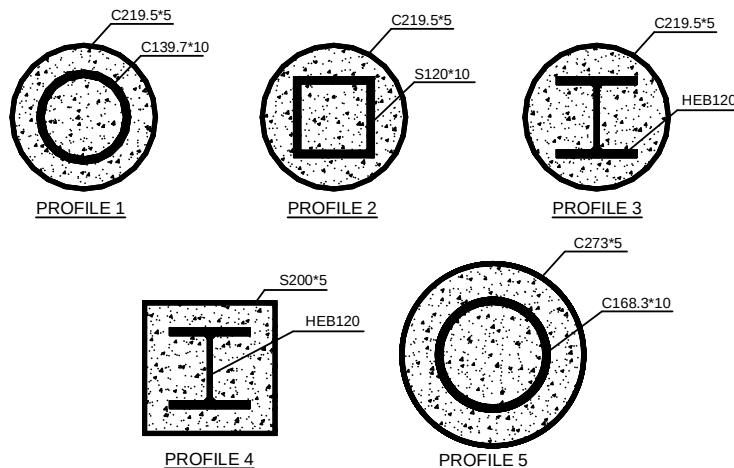
Mười cột ống thép nhồi bê tông với 5 loại tiết diện khác nhau đã được thí nghiệm tại Phòng thí nghiệm cháy – trường Đại học Liege. Nghiên cứu này tập trung vào loại tiết diện ống thép tròn hoặc vuông bao bọc một thép hình khác bên trong. Do vậy, bê tông nhồi bên trong cột là bê tông tự đầm để bê tông dễ dàng lấp đầy tiết diện cột.

2. Thí nghiệm

Mười cấu kiện cột ống thép nhồi bê tông trong đó có hai cấu kiện có sơn phủ chống cháy bằng sơn phồng (intumescent paint) được thí nghiệm xác định khả năng chịu cháy. Nhiệt độ tại một số điểm trong tiết diện được ghi lại dạng biểu đồ thời gian cháy- nhiệt độ. Chuyển vị đứng tại đỉnh cột và chuyển vị ngang tại giữa cột cũng được ghi lại. Thí nghiệm này tập trung vào các thông số: loại tiết diện và hệ số tải trọng sử dụng (tỉ số giữa tải trọng tác dụng lên cột khi cháy N_{fi} và khả năng chịu tải trọng của cột ở nhiệt độ thường N_u).

2.1 Mẫu thí nghiệm

Cả mười cột có chiều dài 3310 mm (kể cả chiều dày hai tấm bịt đầu cột). Có 5 loại tiết diện được đặt tên từ profile 1 đến profile 5 (hình 1), mỗi loại tiết diện được thí nghiệm hai lần, mỗi lần một giá trị tải trọng. Các số liệu áp dụng cho mỗi thí nghiệm được ghi trong bảng 1.



Hình 1. Tiết diện ngang của cột thí nghiệm

Bảng 1. Các thông số của cột thí nghiệm

Tên mẫu thí nghiệm	Ống thép bao ngoài		Thép hình bên trong		Khả năng chịu tải ở nhiệt độ thường		Tải trọng tác dụng		Hệ số sử dụng tải Nfi/Nu
	Kích thước (mm)	Giới hạn chảy (MPa)	Kích thước (mm)	Giới hạn chảy (MPa)	Lực dọc Nu (KN)	Độ lệch tâm e (mm)	Lực dọc Nfi (KN)	Độ lệch tâm e (mm)	
1A	219.1 * 5	420	139.7 * 10	340	3000	0	733	0	0.24
1B	219.1 * 5	420	139.7 * 10	340	2253	15	1126	15	0.50
2A	219.1 * 5	420	120 * 10	349	2294	15	688	15	0.30
2B	219.1 * 5	420	120 * 10	349	2489	10	1244	10	0.50
3A	219.1 * 5	420	HEB 120	375	2365	10	946	10	0.40
3B (có sơn)	219.1 * 5	420	HEB 120	375	2241	10	896	10	0.40
4A	200 * 5	510	HEB 120	375	2943	10	1177	10	0.40
4B (có sơn)	200 * 5	510	HEB 120	375	2809	10	1124	10	0.40
5A	273 * 5	420	168.3 * 10	333	3995	10	1199	10	0.30
5B	273 * 5	420	168.3 * 10	333	3995	10	1998	10	0.50

* Khả năng chịu tải của cột ở nhiệt độ thường được xác định bằng cách dùng phần mềm phân tích kết cấu SAFIR phân tích cột theo sơ đồ biến dạng với giả thiết biến dạng ban đầu của cột là nửa hình sin và giá trị chuyển vị ban đầu tại giữa cột là $L/500$.

Các cặp cột 1A và 1B, 2A và 2B, 5A và 5B giống hệt nhau nhưng được thí nghiệm với tải trọng nén khác nhau. Tiết diện cột 3A và 3B như nhau được thí nghiệm nén lệch tâm theo hai phương khác nhau. Cột 3B thí nghiệm lệch tâm theo trục yếu của tiết diện nên khả năng chịu cháy rất nhỏ do đó được sơn một lớp sơn chống cháy. Cặp cột 4A-4B cũng vậy nhưng cột 4B được sơn lớp sơn dày hơn.

Cường độ chịu nén của bê tông được xác định bằng mẫu thử và lấy giá trị 35 MPa đưa vào tính toán (ứng với cường độ của mẫu trụ ở tuổi 3 tháng).

Lượng nước trong bê tông được xác định bằng kỹ thuật làm khô bằng lò. Sau khi đổ bê tông hơn 3 tháng, lượng nước còn trong bê tông khoảng 6 %.

Tám lỗ thông hơi được khoan gần 2 đầu cột để hơi nước có thể thoát ra tránh nổ cột ống thép trong quá trình đốt. Hai lỗ khoan gần sát một đầu cột để dẫn dây đo nhiệt độ nối vào máy tính bên ngoài lò.

Nhiệt kế loại K - chromel-alumel được sử dụng để đo nhiệt độ tại các điểm trong bê tông, thép hình bên trong và ống thép bọc ngoài của các cột. Mỗi cột đo tại 4 tiết diện. Mỗi tiết diện đo nhiệt độ tại 6 đến 11 điểm.

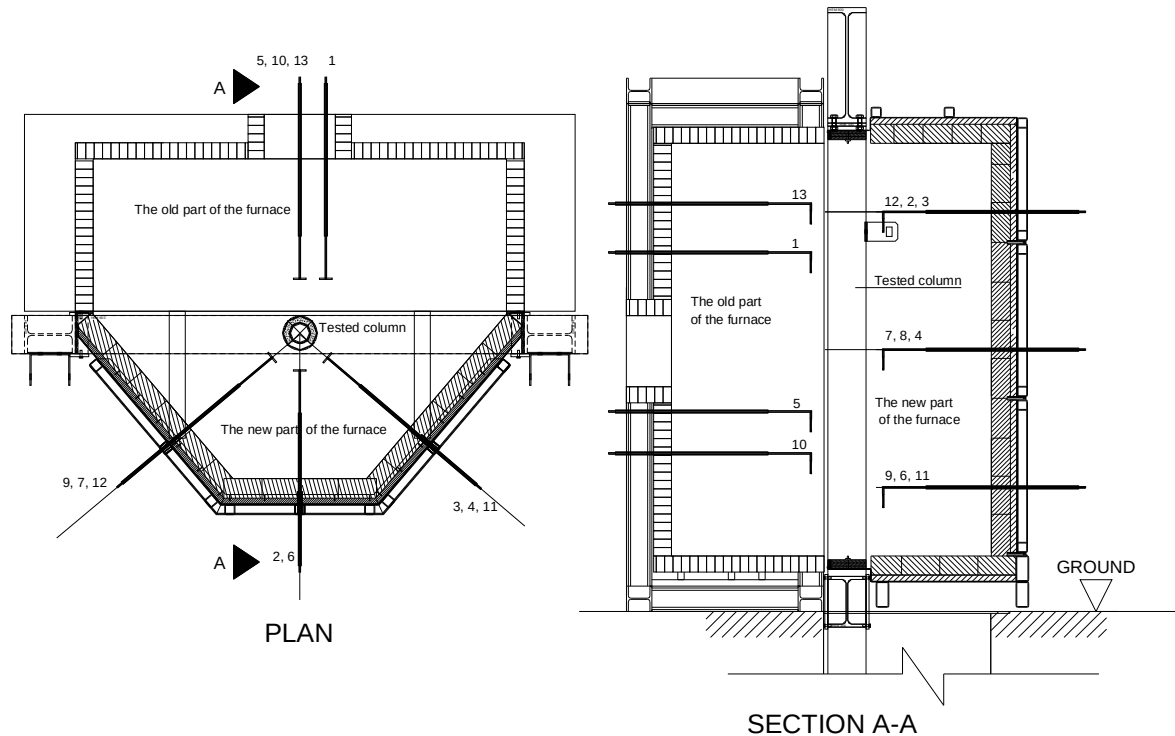
2.2 Thiết bị thí nghiệm

Thí nghiệm xác định khả năng chịu cháy của cột được tiến hành ở Phòng thí nghiệm cháy – trường Đại học Liege - Vương quốc Bỉ theo đúng tiêu chuẩn EN 1365-4 [2].

Tác dụng tải trọng lên cột bằng kích thủy lực trọng tải 3000 kN. Đầu trên của cột được gắn cố định với một dầm thép cứng, đầu dưới gắn với một dầm thép cứng khác có thể dịch chuyển thẳng đứng nhờ vào kích thủy lực. Khi kích hoạt động, dầm dưới dịch chuyển lên tạo lực nén lên cột.

Lò đốt là dạng lò đứng kích thước 3250x3250 mm. Ban đầu, lò chỉ được thiết kế để thí nghiệm cấu kiện chịu cháy ở một mặt như cửa, tường ngăn cháy. Để thí nghiệm đốt cả bốn mặt cột, lò đốt này được gắn thêm một phần (the new part of the furnace) (hình 2). Phần gắn thêm này không có các nguồn nhiệt, tất cả các nguồn nhiệt ở phần lò cũ. Do vậy, có thể nhiệt độ trong lò đốt sẽ có sự chênh lệch giữa phần lò cũ và phần lò mới. Thí nghiệm đã đo cẩn thận nhiệt độ ở hai phần lò để xác định sự chênh lệch nhiệt độ này.

Nhiệt độ trong lò đốt được xác định bằng 13 nhiệt kế thermoplates được đặt cách cột thí nghiệm khoảng 150 mm ở các phía và độ cao khác nhau (hình 2). Nhiệt độ trung bình của 13 nhiệt kế này được tính toán và ghi lại theo thời gian và là cơ sở để thí nghiệm viên điều chỉnh nguồn nhiệt sao cho nhiệt độ trong lò đúng theo thiết kế thí nghiệm.



Hình 2. Vị trí các thiết bị đo nhiệt độ trong lò đốt

2.3 Điều kiện thí nghiệm và quy trình thí nghiệm

Tất cả các cột đều được thiết kế liên kết khớp ở hai đầu bằng các tám đầu cột là các nửa trụ có thể xoay theo phương thiết kế.

Chuyển vị ngang tại tiết diện giữa cột được dẫn ra ngoài lò bằng một thanh dẫn ceramic nối với thiết bị đo chuyển vị ngang. Một nhiệt kế được gắn vào thanh dẫn này để đo nhiệt độ và tính được độ giãn do nhiệt của thanh dẫn.

Các cột được gia tải đến tải trọng thiết kế ở nhiệt độ thường (từ 25 % đến 50 % khả năng chịu tải của cột như ghi trong bảng 1). Trừ cột 1A, còn tất cả các cột đều được gia tải nén lệch tâm. Giá trị tải trọng và độ lệch tâm ghi trong bảng 1. Tất cả các cột đều được gia tải trước khi tiến hành đốt lò ít nhất 15 phút tuân theo tiêu chuẩn EN 1365-4. Nhiệt độ trong lò được điều chỉnh tuân theo đường cong nhiệt độ - thời gian chuẩn ISO 834.

Cột được coi là bị phá hoại khi đường cong chuyển vị ngang - thời gian cháy bắt đầu dốc xuống với độ dốc lớn. Ngay sau thời điểm đó, thí nghiệm được dừng nhanh chóng, tránh cột đổ xuống gây hư hỏng lò đốt.

2.4 Kết quả thí nghiệm

Tất cả các cột đều bị phá hoại do uốn dọc tổng thể mặc dù có quan sát được mất ổn định cục bộ ở một số vị trí trong cột 1B, 4A, 4B và 5B (hình 4). Dạng phá hoại điển hình của các cột như trong hình 3.

Khả năng chịu cháy (thời gian tính từ lúc đốt lò đến lúc cột bị phá hoại) của các cột ghi trong bảng 2. Ta thấy, tăng hệ số sử dụng tải làm giảm rõ rệt khả năng chịu cháy của cấu kiện.



Hình 3. Cột 1B sau thí nghiệm



Hình 4. Mất ổn định cục bộ trên cột 4A

Hai cột 3B và 4B là hai cột được sơn bởi lớp sơn chống cháy intumescent paint. Loại sơn này phồng lên, tăng chiều dày khi nhiệt độ bắt đầu khoảng 200°C đến 300°C . Lớp sơn này như một lớp chắn nhiệt giúp cho nhiệt độ bên trong cột không bị tăng cao một cách nhanh chóng. Quan sát thấy rằng, lớp sơn này có những vết nứt và các vết nứt phát triển theo nhiệt độ (hình 5). Ở cột 4B, một số vị trí sơn còn bị bong tróc rơi xuống sau khoảng 80 phút bị đốt trong lò (hình 6). Dựa vào quan sát này, mô phỏng số điều chỉnh các chỉ tiêu dẫn nhiệt của lớp sơn để có kết quả mô phỏng sát thực nghiệm.



Hình 5. Cột 3B với lớp sơn chống cháy sau khi thí nghiệm



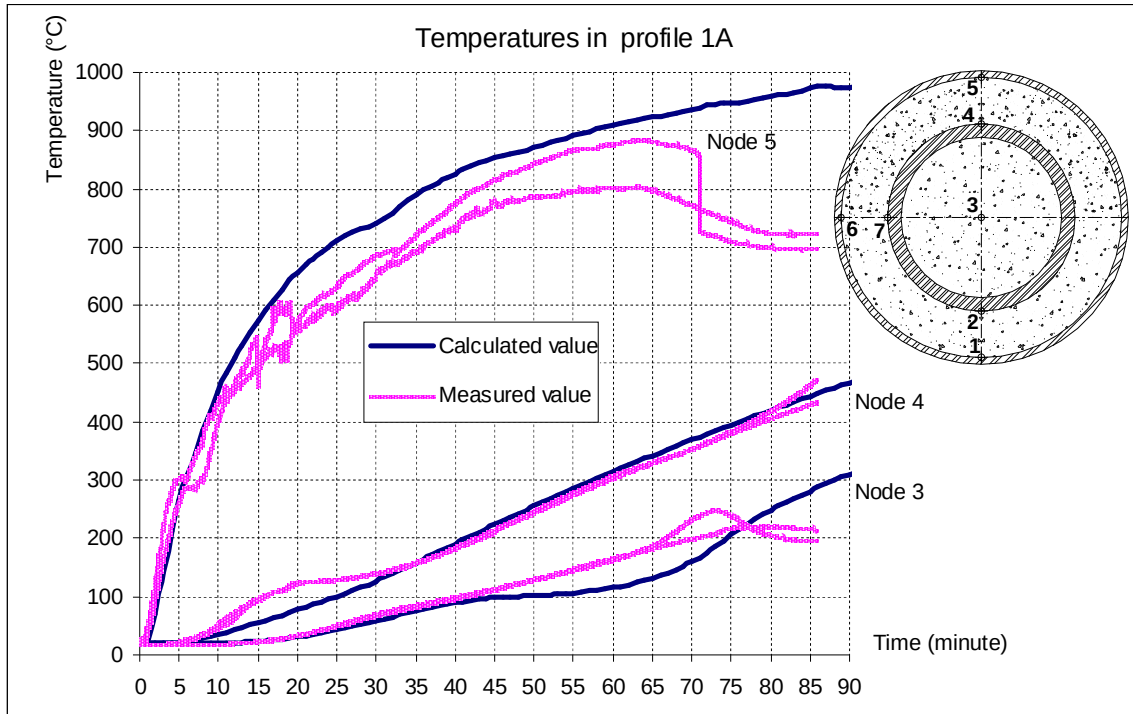
Hình 6. Cột 4B sau thí nghiệm

3. Mô phỏng thí nghiệm và kiểm chứng

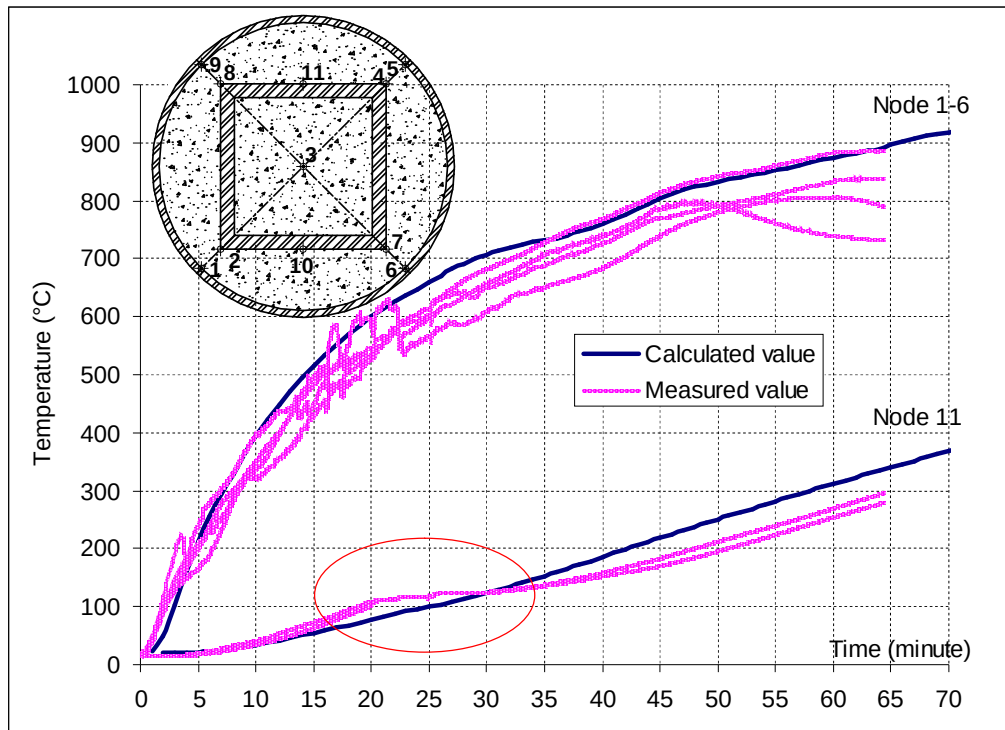
Các cột thí nghiệm được mô phỏng bằng phần mềm SAFIR – phân tích phi tuyến kết cấu trong điều kiện nhiệt độ thường và nhiệt độ tăng cao [3]. Phân tích kết cấu trong đám cháy được chia thành hai bước. Bước 1 gọi là phân tích nhiệt: xác định nhiệt độ trong kết cấu thay đổi theo thời gian cháy. Bước 2 gọi là bước phân tích kết cấu: tính ứng suất, biến dạng trong kết cấu tại từng bước thời gian cháy có cập nhật tính chất cơ lý của vật liệu thay đổi theo nhiệt độ.

3.1 Phân tích nhiệt

Nhiệt độ đo được trong cột (Measured value) được so sánh với kết quả mô phỏng (Calculated value). Hình 7 và hình 8 là hai trong các hình vẽ thể hiện nhiệt độ đo tại một số điểm trong tiết diện. Mỗi cột được đo nhiệt độ ở các tiết diện: cách đầu cột 1/3 và 1/4 chiều dài cột.



Hình 7. Nhiệt độ trong cột 1A



Hình 8. Nhiệt độ trong cột 2A

So sánh giá trị đo được và giá trị tính toán, có thể rút ra những nhận xét sau:

- Nhiệt độ trong ống thép bao ngoài có giá trị tính toán và giá trị đo tương đối giống nhau;

- Nhiệt độ trong ống thép phía trong có sự sai khác một cách hệ thống giữa giá trị đo được và giá trị tính. Đó là giai đoạn bốc hơi nước (trong khoảng nhiệt độ 100°C) đo được dài hơn so với tính toán (vùng khoanh tròn ở hình 8). Hiện tượng này có thể giải thích là do trong tính toán không kể đến sự hội tụ lại của hơi nước khi di chuyển từ vùng nhiệt độ cao sang vùng có nhiệt độ thấp hơn, do đó một lượng nước cần lượng nhiệt làm bốc hơi không chỉ một lần như trong mô phỏng. Tuy nhiên, sự sai khác này không ảnh hưởng đáng kể đến ứng suất, biến dạng trong cấu kiện vì ở nhiệt độ từ 100°C đến 150°C , các tính chất cơ lý của thép và bê tông hầu như không thay đổi.

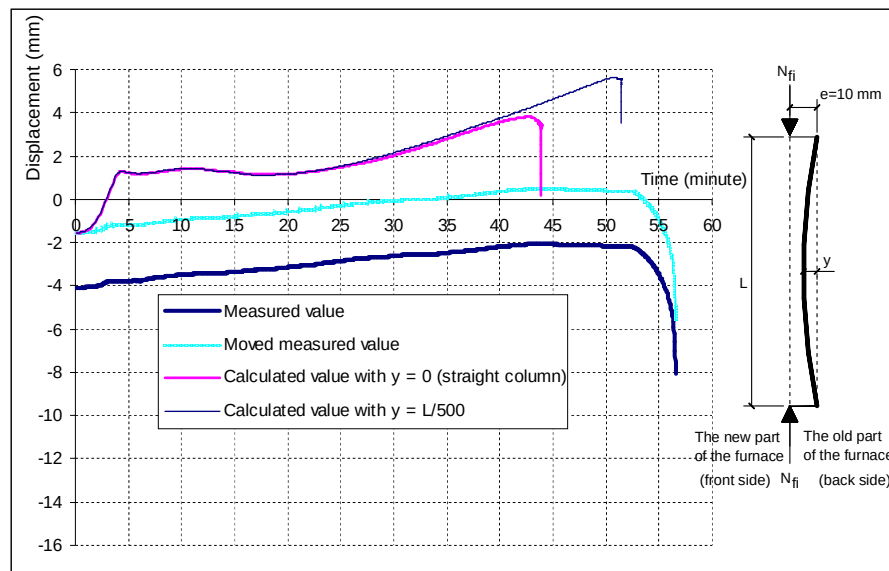
3.2 Phân tích kết cấu

Dùng phần mềm SAFIR để phân tích kết cấu. Kết quả tính và kết quả thí nghiệm thời gian chịu cháy của cột ghi trong bảng 2.

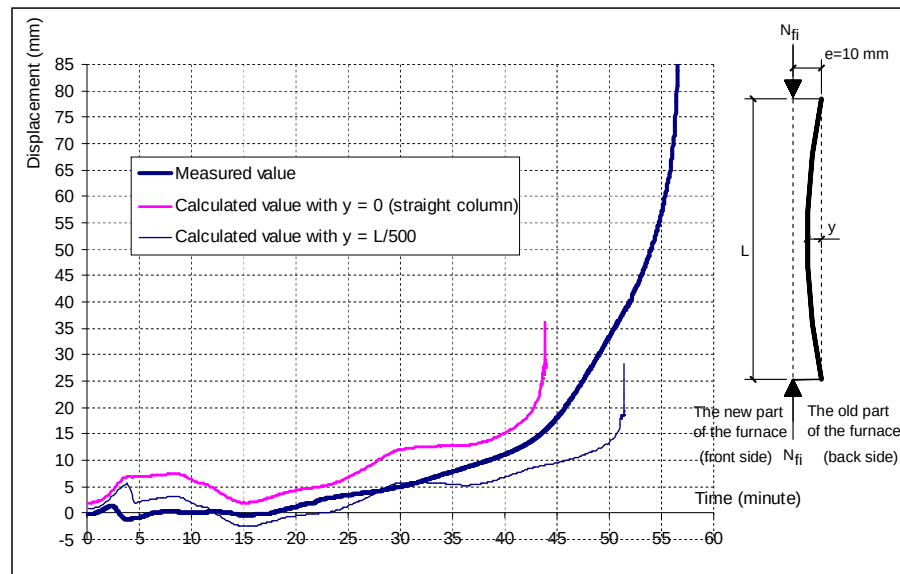
Bảng 2. So sánh khả năng chịu cháy của cột theo mô phỏng số bằng phần mềm SAFIR và theo kết quả thí nghiệm

Tên mẫu thí nghiệm	Tải trọng tác dụng		Hệ số sử dụng tải N_{fi}/N_u	Khả năng chịu cháy đo được $R_{t\text{-test}}$ (phút)	Khả năng chịu cháy tính toán $R_{t\text{ cal}}$ (phút)	$R_{t\text{ cal}}/R_{t\text{ test}}$
	Lực dọc N_{fi} (KN)	Độ lệch tâm e (mm)				
Profile 1A	733	0	0.24	86	82	0.95
Profile 1B	1126	15	0.50	22	25	1.12
Profile 2A	688	15	0.30	65	67	1.03
Profile 2B	1244	10	0.50	43	41	0.94
Profile 3A	946	10	0.40	56	51	0.92
Profile 3B (có sơn)	896	10	0.40	64	63	0.99
Profile 4A	1177	10	0.40	39	40	1.04
Profile 4B (có sơn)	1124	10	0.40	79	73	0.92
Profile 5A	1199	10	0.30	104	87	0.84
Profile 5B	1998	10	0.50	35	41	1.16
Giá trị trung bình						0.99
Độ lệch chuẩn =						0.10

Chuyển vị ngang đo tại điểm giữa cột và chuyển vị đứng đo tại đầu cột được so sánh với các giá trị mô phỏng bằng phần mềm SAFIR. Hình 9 và 10 nêu ví dụ so sánh cho 1 mẫu thí nghiệm. Do chuyển vị đứng tại đỉnh cột đo được tại thời điểm bắt đầu đốt lò (sau khi gia tải) - tại điểm ứng với thời gian bằng 0 ở hình 9 - sai lệch nhiều so với kết quả tính nên để dễ so sánh ta dịch đường đo được cho cùng chuyển vị với giá trị tính toán tại gốc 0 và được đường moved measured value (hình 9). Sự sai lệch giá trị chuyển vị đứng tại đỉnh cột sau khi gia tải (trước khi đốt lò) có thể giải thích là do sự tự điều chỉnh của gối tựa khớp khi bắt đầu gia tải.



Hình 9. Chuyển vị đứng tại đỉnh cột của thí nghiệm số 3A



Hình 10. Chuyển vị ngang tại điểm giữa cột ở thí nghiệm số 3A

So sánh kết quả thí nghiệm và kết quả tính toán, có thể rút ra những nhận xét sau:

- Kết quả tính độ dãn dài của cột ở 5 phút đầu đốt cột lớn hơn so với kết quả đo. Nhưng sau đó, kết quả thí nghiệm và kết quả đo tương đối giống nhau;

- Giả thuyết về độ cong ban đầu cột ảnh hưởng lớn đến chuyển vị ngang tính toán tại điểm giữa cột;

- Trong mô phỏng, cột có độ dẻo kém hơn so với kết quả thí nghiệm (hình 10, trước khi bị phá hoại chuyển vị ngang của cột trong mô phỏng thay đổi theo thời gian với độ dốc lớn. Còn trong thí nghiệm, chuyển vị ngang tăng từ từ trong khoảng thời gian lớn hơn). Sự sai khác này cần được giải thích. Ban đầu, giả thuyết là hiện tượng tái bền của thép hình bên trong gây ra sự sai khác này. Song sau khi dùng mô hình tái bền của thép để mô phỏng cho thép hình bên trong, thấy rằng cột đều bị phá hoại trước khi biến dạng trong thép đạt tới 2 % (điểm đầu tiên của giai đoạn tái bền). Như vậy giả thuyết này được loại bỏ. Một giả thuyết khác được đưa ra là do hiện tượng tăng cường độ và biến dạng cực hạn của bê tông bên trong do có ống thép gò chặt. Giả thuyết này chưa được kiểm chứng do phần mềm SAFIR chưa đưa được mô hình ứng suất- biến dạng của bê tông có kể đến hiện tượng gò chặt. Đây là gợi ý cho những nghiên cứu tiếp theo;

- Thí nghiệm có thấy sự mất ổn định cục bộ của ống thép bao ngoài trong khi mô phỏng bỏ qua hiện tượng này. Câu hỏi đặt ra là liệu sự mất ổn định cục bộ này có ảnh hưởng lớn đến kết quả phân tích ứng xử của cột. Phân tích kỹ ứng suất - biến dạng trong ống thép thấy rằng sau 30 phút chịu cháy, thép bên ngoài đã đạt nhiệt độ tới trên 600°C, cường độ và độ cứng trong thép đã giảm gần hết, hầu như toàn bộ lực truyền sang lõi bê tông bên trong. Như vậy, sự mất ổn định cục bộ của lõi thép ngoài hầu như không ảnh hưởng đến khả năng chịu cháy của cột.

4. Kết luận

Kết quả thí nghiệm về cột ống thép nhồi bê tông tự đầm chịu cháy đã cung cấp các kiến thức về truyền nhiệt và ứng xử cơ học của loại cột này khi chịu cháy. Phần mềm SAFIR đã được sử dụng để mô phỏng số cho kết quả mô phỏng tương đối sát với kết quả thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. CHU THI BINH, Hollow steel section columns filled with self-compacting concrete under ordinary and fire conditions. PhD thesis. University of Liege, Belgium, 2009.
2. EN 1365 – 4, "Fire resistance Tests for Loadbearing Elements – Part 4: Columns", CEN - European committee for Standardization, Brussels, August 1999.
3. FRANSSSEN J.M. SAFIR. A Thermal/Structural Program Modelling Structures under Fire, Engineering Journal, A.I.S.C., Vol 42. (3), 2005.