VẬT LIỆU & XÂY DỰNG
Tạp chí Vật liệu và Xây dựng
ISSN 1859 - 381X
Website: www. jomc.vn

Nghiên cứu thử nghiệm khả năng làm việc của sàn bê tông nhẹ cường độ cao sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay

Phan Văn Quỳnh [1*], Lê Việt Hùng [1], Dương Thanh Qui[1]

[1] Viện Vật liệu xây dựng, Số 235 Nguyễn Trãi, Q. Thanh Xuân, Hà Nội

TỪ KHOÁ

Bê tông nhẹ cường độ cao
Hạt vi cầu rỗng
Độ võng
Biến dạng
Vết nứt

TÓM TẮT

Các tấm sàn BTCT thử nghiệm được chế tạo từ loại bê tông nhẹ cường độ cao (FAC – HSLWC) với mác KLTT là D1400 và D1500 và bê tông thông thường có cùng cấp cường độ nén 28 ngày là 45 Mpa. Đánh giá ứng xử làm việc của các tấm sàn BTCT thử nghiệm thông qua các thông số: khả năng chịu tải, sự hình thành và phát triển vết nứt, biến dạng của bê tông (vùng nén, vùng kéo), độ võng. Kết quả cho thấy tải trọng tại độ võng cho phép, tải trọng tại độ mở vết nứt 0,3 mm và tải trọng cực hạn của tấm sàn FAC-HSLWC là tương đương với tấm sàn bê tông thông thường. Sự ứng xử khác biệt của tấm sàn FAC-HSLWC so với tấm sàn bê tông thông thường đó là: sự xuất hiện vết nứt đầu tiên sớm hơn khá nhiều và xuất hiện nhiều vết nứt xung quanh vùng giữa nhịp nhưng độ mở vết nứt và phát triển vết nứt (theo chiều dài và chiều rộng) lại nhỏ hơn khá nhiều so với tấm sàn bê tông thường. Tấm sàn FAC-HSLWC có cơ chế phá hủy là bong tách và trượt giữa lớp bê tông nhẹ phía dưới và lớp bê tông nặng (đổ bù) phía trên trong khi tấm sàn bê tông thường phá hoại do phá hủy bê tông vùng nén.

KEYWORDS

High strength light weight concrete
Cenosphere
Deflection
Deformation
Crack

ABSTRACT

The test reinforced concrete floor slabs are made from high-strength lightweight concrete (FAC – HSLWC) with grades of D1400 and D1500 by mass and normal concrete with the same 28-day compressive strength of 45 Mpa. Evaluate the working behavior of the tested reinforced concrete floor slabs through the following parameters: load capacity, crack formation and development, concrete deformation (compression zone, tensile zone), deflection. The results show that the load at the allowable deflection, the load at the crack opening of 0.3 mm and the ultimate load of the FAC-HSLWC slab is equivalent to that of a conventional concrete slab. The different behavior of FAC-HSLWC floor slabs compared to conventional concrete slabs is: the first crack appeared much earlier and appeared many cracks around the mid-span area but the crack opening and The crack development (in length and width) is much smaller than that of ordinary concrete floors. FAC-HSLWC floor slabs have the failure mechanism of splitting and sliding between the light concrete layer below and the heavy concrete layer (compensation) above while the concrete floor slabs often fail due to the destruction of concrete in the compression zone.

1. Giới thiệu

Bê tông nhẹ cường độ cao dùng cho kết cấu đang ngày càng được quan tâm, sử dụng nhiều trên thế giới do những ưu điểm vượt trội so với kết cấu bê tông cốt thép thông thường như giảm tải trọng công trình, tiết kiệm chi phí xây dựng, tăng khả năng cách âm, cách nhiệt [1]. Hạt vi cầu rỗng từ tro bay (FAC) là các hạt nhẹ có trong tro bay nhà máy nhiệt điện, khối lượng thể tích của chúng thường trong khoảng 0,4-9,0 g/cm^3, kích thước hạt trong khoảng 1-300μm, với các hạt chủ yếu trong khoảng 20-300 μm, chúng là những hạt có kích thước lớn trong tro bay so với các hạt tro bay khác có kích thước hạt chủ yếu dưới 20μm. Chiều dày thành vách của hạt FAC trong khoảng 1-18 μm. Theo báo cáo của một số nghiên cứu các hạt cenosphere có khả năng kháng nén dập tốt [2], với lớp vỏ có khả năng chống thấm khí và nước tốt [3]. Chính vì vậy, các nghiên cứu về sử dụng cenosphere như là hạt vi cốt liệu nhẹ cho chế tạo bê tông nhẹ cường độ cao được thực hiện khá nhiều trong khoảng hơn một thập kỷ trở lại đây. Bê tông nhẹ cường độ cao sử dụng cenophese có tiềm năng sử dụng cho kết cấu bê tông cốt thép và kết cấu bê tông dạng sandwich [4].

Việc nghiên cứu ứng xử của kết cấu bê tông cốt thép khi chịu tải trọng đã được thực hiện rất nhiều từ trước tới nay trên thế giới cũng như Việt Nam [5] [6]. Các nghiên cứu này chủ yếu được thực hiện trên bê tông cốt thép truyền thống. Việc nghiên cứu khả năng làm việc của sàn bê tông nhẹ cường độ cao, đặc biệt là bê tông sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay còn rất hạn chế. Bài báo này tập trung nghiên cứu ứng xử của sàn bê tông nhẹ cường độ cao sử dụng Cenospheres khi chịu tải trọng tập trung thông qua các thông số: Khả năng chịu tải, sự hình thành và phân bố vết nứt, biến dạng của bê tông (vùng nén, vùng kéo), độ

*Liên hệ tác giả: Phanvanquynh.nuce@gmail.com
Nhận ngày 29/06/2023, sửa xong ngày 22/11/2023, chấp nhận đăng 24/11/2023
Link DOI: https://doi.org/10.54772/jomc.01.2024.505

võng. Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa trong việc ứng dụng bê tông nhẹ cường độ cao cho các kết cấu công trình dân dụng và công nghiệp.

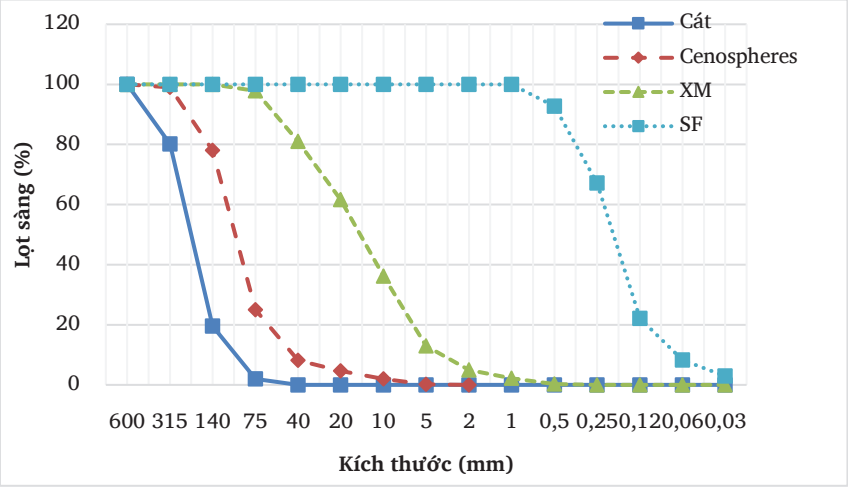
2. Vật liệu sử dụng và cấp phối, tính chất của bê tông

2.1. Vật liệu sử dụng

Vật liệu cho chế tạo bê tông HSLWC gồm cát sông cỡ hạt 0,15-0,63 mm, cenospheres (FAC) từ tro bay nhiệt điện cung cấp bởi Công ty Sông Đà-Cao cường, chất kết dính gồm xi măng poóc lăng loại PC40 theo TCVN 2682 và silica fume (SF) của hãng Elkem, phụ gia siêu sẻo gốc polycarboxylate PCE loại F theo ASTM C494, sợi polypropylene dạng bó sợi, chiều dài 12-20 mm, khối lượng thể tích, cường độ kéo đứt, mô đun đàn hồi lần lượng là 0,91 g/m^3, 450 MPa và 3500 MPa và nước máy. Tính chất vật liệu sử dụng được trình bày tương ứng trong Bảng 1 và thành phần hạt của vật liệu thể hiện trong Hình 1.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng, silica fume, cenosphere, cát sử dụng.

Tính chất cơ lý	Xi măng	Silica fume	Cenospheres	Cát 0-0.63
Khối lượng riêng (g/cm^3)	3,05	2,15	0,78	2,62
Độ hút nước (%)	-	-	1,41	1,86
Lượng nước tiêu chuẩn (%)	30	-	-	-
Thời gian bắt đầu đông kết (phút)	120	-	-	-
Thời gian kết thúc đông kết (phút)	170	-	-	-
Diện tích bề mặt riêng, (cm^2/g)	3820	29.900	-	-
Kích thước hạt trung bình (μm)	16,68	0,15	116	225
Cường độ nén 3 ngày (MPa)	31,6	-	-	-
Cường độ nén 28 ngày (MPa)	46,1	-	-	-
Chỉ số hoạt tính (%)	-	115	85,1	-



Hình 1. Thành phần hạt vật liệu.

2.2. Cấp phối và tính chất bê tông

Tấm sàn BTCT thử nghiệm là loại tấm sàn panel bê tông cốt thép dự ứng lực được chế tạo trên dây chuyền sản xuất quy mô công nghiệp. Các tấm sàn BTCT thử nghiệm được chế tạo từ loại bê tông nhẹ cường độ cao FAC-HSLWC với mác KLTT là D1400 và D1600 và bê tông thông thường có cùng cấp cường độ nén 28 ngày là 45 MPa (để so sánh). Đánh giá ứng xử làm việc của các tấm sàn BTCT thử nghiệm thông qua các thông số: khả năng chịu tải, sự hình thành và phát triển vết nứt, biến dạng của bê tông (vùng nén, vùng kéo), độ võng. Thành phần cấp phối bê tông của các loại bê tông chế tạo tấm sàn BTCT thử nghiệm thể hiện trong Bảng 2.

Tấm sàn BTCT thử nghiệm là tấm sàn đặc có kích thước 3200×1190×70 mm. Cấu tạo của các tấm sàn BTCT thử nghiệm như thể hiện trong Hình 2.

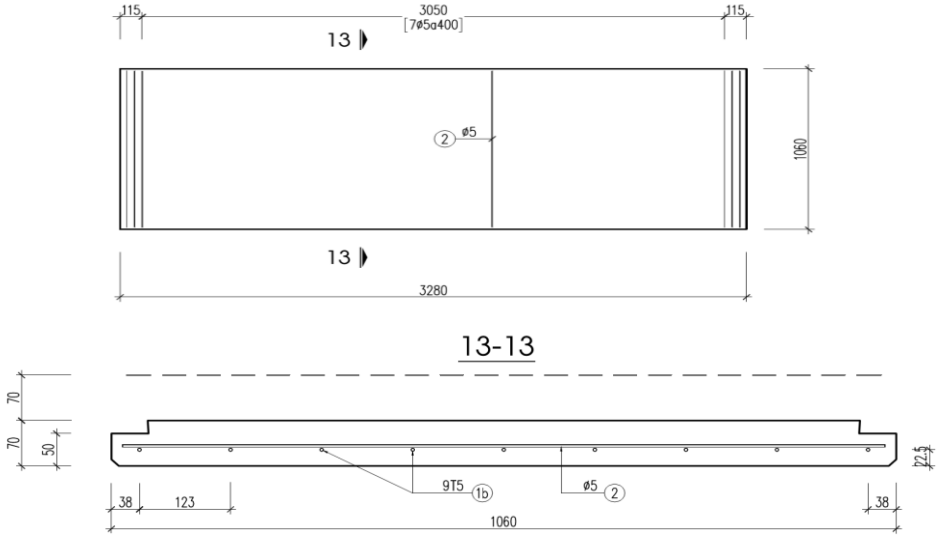
Bảng 2. Thành phần cấp phối bê tông dùng chế tạo tấm sàn BTCT thử nghiệm.

Ký hiệu	N/CKD	PCB40 (kg)	SF (kg)	FAC (kg)	Đá 5-20 mm (kg)	Cát 1,25 (kg)	PG SD (L)	Sợi PP (kg)	Nước (L)	Độ sụt/ chảy (cm)
D2.4	0,37	440	-	-	1120	810	2,2	-	162	4
D1.4	0,35	675	75,0	277	-	189	6,75	4,55	263	18
D1.6	0,35	675	75,0	223	-	378	5,25	4,55	263	18

(Chú thích: Mẫu D2.4 là mẫu đối chứng đang sản xuất tại nhà máy sử dụng bê tông thông thường (B35, ~ mác 450); D1.4 và D1.6 là hai loại bê tông FAC-HSLWC với KLTT ~ 1,4 và 1,6 tấn/m^3, mác cường độ nén 45-48 MPa).

Bảng 3. Một số tính chất của bê tông chế tạo tấm sàn BTCT thử nghiệm.

Loại bê tông	Cấu kiện sử dụng	Tính công tác (cm)	Cường độ nén (MPa)			KLTT (kg/m^3)	Độ hút nước (%)
			3 ngày	khi cắt cáp (> 35MPa)	28 ngày		
D2.4	Tấm sàn P1	Độ sụt 4 cm	36,1	41,3 (5 ngày)	51,2	2432	2,51
D1.4	Tấm sàn P1-N(1.4)	Độ chảy 19 cm	28,6	35,1 (7 ngày)	45,2	1312	4,52
D1.6	Tấm sàn P1-N(1.6)	Độ chảy 18,5 cm	33,2	38,7 (5 ngày)	48,7	1590	2,83



Hình 2. Cấu tạo tấm sàn BTCT thử nghiệm.

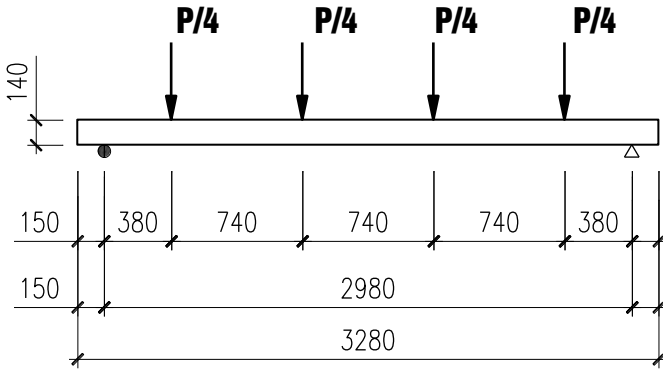
Bảng 4. Tính toán khả năng chịu tải của tấm sàn panel.

Các thông số	P1	P1-N (1.6)	P1-N (1.4)
KLTT (kg/m^3)	2400	1500	1200
Cường độ nén (MPa)	45	45	45
Cường độ chịu nén F_{ck} (mẫu trụ) quy đổi (MPa)	29,2	29,2	29,2
Mô đun đàn hồi (MPa)	32627	17600	13100
Tải trọng phá hoại (kN)	5,56	4,86	4,80

3. Sơ đồ và thiết bị thí nghiệm

3.1. Sơ đồ thí nghiệm

Tấm sàn panel đặc P1, P1-N (1.4) và P1-N (1.6) được thí nghiệm với sơ đồ thí nghiệm dầm đơn giản (kê mẫu thí nghiệm lên 1 gối tựa cố định và 1 gối tựa di động), chịu tác dụng của 04 lực tập trung, mỗi lực tập trung có giá trị là P/4. Sơ đồ thí nghiệm được thể hiện trên Hình 3.



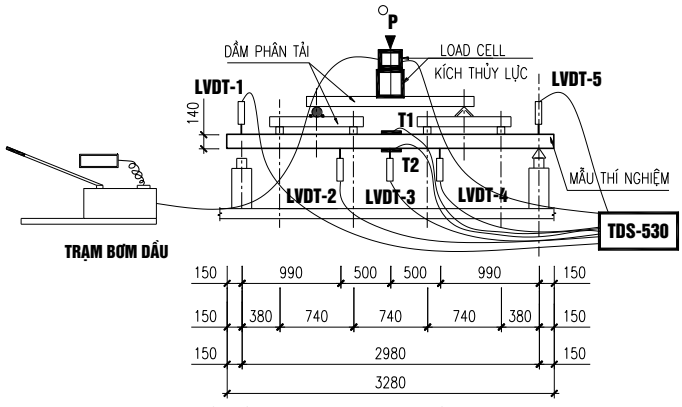
Hình 3. Sơ đồ thí nghiệm tấm sàn panel đặc.

3.2. Sơ đồ bố trí hệ khung gia tải và dụng cụ đo

Tấm sàn panel đặc được thí nghiệm dưới tác dụng của các lực tập trung. Để tạo ra tải trọng tập trung tác dụng lên panel, sử dụng kích thủy lực kết hợp với hệ dầm phân tải. Tải trọng P tác dụng ở đầu kích được đo bằng lực kế điện tử (Load cell) được kết nối với bộ xử lý số liệu Dataloger TDS – 530. Thông qua các hệ dầm phân tải sẽ phân thành 04 lực tập trung, mỗi lực có giá trị là P/4 tác dụng lên panel thí nghiệm. Các thông số đo đạc trong quá trình thí nghiệm:

- Độ võng của panel: Được đo bằng 03 thiết bị cảm biến chuyển vị điện tử LVDT (LVDT-1; LVDT-3; LVDT-5). Ngoài ra bố trí thêm 02 thiết bị cảm biến chuyển vị LVDT - 2 và LVDT – 4 để khảo sát chuyển vị ở tại 1/3 nhịp.
- Biến dạng của bê tông: Sử dụng 02 Tenzomet điện trở T-1 đo ở vùng nén của bê tông và T-2 được đo ở vùng kéo của bê tông
- Khảo sát nứt: Độ mở rộng khe nứt được đo bằng kính soi nứt quang học chuyên dụng, có độ chính xác 0,01 mm.

Sơ đồ lắp dựng hệ khung gia tải và bố trí dụng cụ đo được thể hiện trong Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Sơ đồ bố trí hệ gia tải và thiết bị thử nghiệm tấm sàn panel đặc.

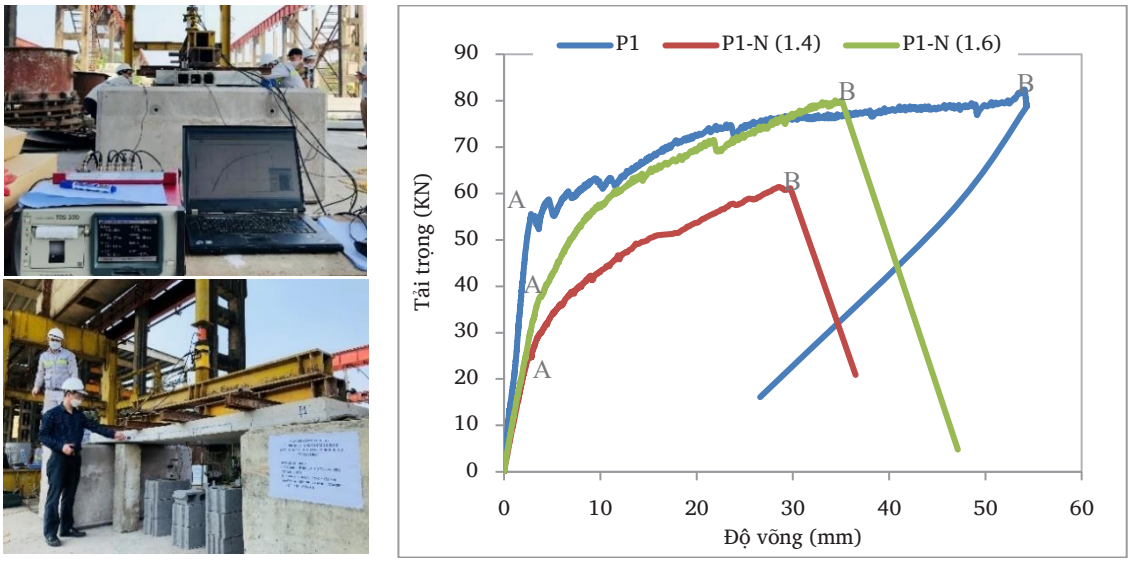
Hình 5. Hình ảnh bố trí hệ gia tải và thiết bị thí nghiệm tấm sàn panel đặc.

4. Kết quả và bàn luận

4.1. Quan hệ giữa tải trọng và độ võng

Trên Hình 6 thể hiện các biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và độ võng (P–f) của 03 mẫu sàn thí nghiệm. Từ đồ thị trên Hình 6 thu được các giai đoạn làm việc của tấm sàn từ lúc gia tải cho đến khi phá hủy hoàn toàn. Trong giai đoạn đầu OA, các tấm sàn làm việc trong miền đàn hồi, bê tông và cốt thép cùng đồng thời làm việc, biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và độ võng là tuyến tính. Tuy nhiên có thể thấy ở giai đoạn này độ dốc của các đường OA là khác nhau giữa tấm sàn bê tông thường và bê tông nhẹ. Độ dốc của tấm sàn bê tông thường lớn hơn so với bê tông nhẹ, trong khi hai tấm sàn bê tông nhẹ cơ bản tương đồng với nhau.

Tại điểm A có sự thay đổi độ dốc đầu tiên của đường cong quan hệ tải trọng – độ võng, cho phép xác định được tải trọng gây ra vết nứt đầu tiên trên các tấm sàn BTCT thí nghiệm. Có thể thấy tải trọng xuất hiện vết nứt đầu tiên của tấm sàn bê tông nhẹ P1-N (1.4) và P1-N (1.6) là 25 và 34 KN thấp hơn khá nhiều so với tấm sàn bê tông thường (54 KN), tương ứng bằng là 46% và 63%. Điều này thể hiện tính dòn hơn của bê tông nhẹ so với bê tông thông thường. Ngoài ra, tấm sàn P1-N (1.4) có tải trọng xuất hiện vết nứt đầu tiên sớm nhất. Điều này cũng tương đồng với tính chất của bê tông nhẹ cho chế tạo cấu kiện này có cường độ thấp là thấp nhất, hàm lượng FAC sử dụng cao nhất, KLTT của bê tông là 1200 kg/m^3 là thấp nhất trong 3 loại thử nghiệm. Các giá trị tải trọng và độ võng đặc trưng của các tấm sàn thí nghiệm được thể hiện ở Bảng 5. Ngoài ra, trong giai đoạn AB các tấm sàn thí nghiệm đều xuất hiện các vết nứt. Tấm sàn bê tông thường (P1) có số lượng vết nứt ít hơn nhưng các vết nứt xuất hiện có kích thước lớn hơn khá nhiều so với hai tấm sàn bê tông nhẹ. Điều này cũng thể hiện rõ tại các vị trí thay đổi đổi đột ngột của đường cong tải trọng - độ võng trong Hình 6.



Hình 6. Quan hệ tải trọng – độ võng của các tấm sàn.

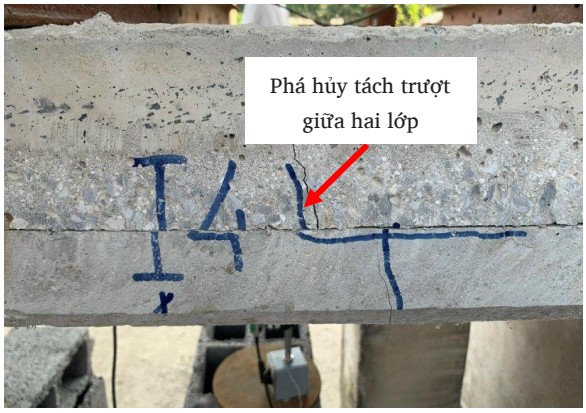
Trong giai đoạn AB, có sự khác nhau giữa các tấm sàn bê tông nhẹ và bê tông thường. Đối với tấm sàn bê tông thường, bê tông vùng chịu kéo mất khả năng làm việc, chỉ có cốt thép vùng chịu kéo làm việc. Tại điểm A, cốt thép miền kéo bắt đầu bị kéo dãn. Trong giai đoạn này, chỉ có bê tông vùng nén làm việc, chiều dài và độ dốc của đoạn này thể hiện khả năng chịu nén của bê tông. Đối với tấm sàn bê tông nhẹ, trong giai đoạn AB thì tải trọng tiếp tục tăng. Điều này thể hiện bê tông vùng chịu kéo của bê tông vẫn còn làm việc do bê tông có chứa cốt sợi phân tán PP, các sợi PP có vai trò là các cầu nối để hạn chế các vết nứt do vậy các vết nứt trên bê tông ở các cấu kiện này có độ rộng nhỏ và phát triển chậm (chi tiết về vết nứt phân tích rõ hơn ở phần sau) tạo ra khả năng chịu kéo nhất định của bê tông mặc dù trên cấu kiện đã xuất hiện vết nứt đầu tiên. Tải trọng ứng với độ võng cho phép (L/150) của các tấm sàn thí nghiệm nằm trong giai đoạn AB thể hiện trong Bảng 5 cho thấy tấm sàn P1 cho tải trọng lớn nhất (72,68 KN), tiếp đến là tầm sàn P1-N (1.6) (69,08 KN) và P1-N (1.4) (53,68 KN). Có thể thấy mặc dù tải trọng gây vết nứt đầu tiên của tấm sàn nhẹ P1-N (1.6) thấp hơn khá nhiều so với tấm sàn bê tông thường P1 nhưng tải trọng ứng với độ võng cho phép hai cấu kiện này chênh lệch với nhau không nhiều (bằng 95% của tấm P1). Điều này là do sự thay đổi độ dốc của đường cong tải trọng - độ võng của tấm sàn P1-N (1.6) do hiệu quả của sử dụng cốt sợi như đã nêu ở trên. Lưu ý rằng, cường độ nén của bê tông nhẹ chế tạo tấm P1-N (1.6) là 48,7 MPa thấp hơn so với 51,2 MPa của bê tông chế tạo tấm P1.

Bảng 5. Đặc trưng ứng xử làm việc của các tấm sàn thí nghiệm.

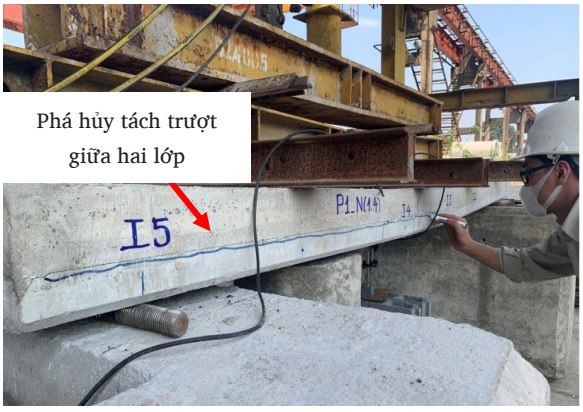
Mẫu sàn thí nghiệm	Tải trọng gây vết nứt đầu tiên P_n (kN)	Tải trọng ứng với độ võng cho phép $[f] = L/150$ P (kN)	Tải trọng cực hạn P_{ul} (kN)	Độ võng khi dầm bị phá hoại f (mm)
P1	54,58	72,68	82,38	54,10
P1-N(1.6)	37,69	69,08	80,08	34,41
P1-N(1.4)	25,09	53,68	61,38	28,64

Tại điểm B, lực không tăng, dầm bị phá hủy. Đây là giá trị tải trọng cực hạn của cấu kiện thử nghiệm. Kết quả thí nghiệm cho thấy tấm sàn P1 cho tải trọng lớn nhất (82,38 KN), tiếp đến là tầm sàn P1-N (1.6) (80,08 KN) và P1-N (1.4) (61,38 KN). Có thể thấy tải trọng cực hạn của các cấu kiện đều lớn hơn khá nhiều so với tải trọng cực hạn tính toán theo tiêu chuẩn (48,6 KN). Ngoài ra, tương tự như tải trọng tại độ võng cho phép thì tải trọng cực hạn của tấm sàn P1 và P1-N (1.6) chênh lệch với nhau không nhiều. Tuy nhiên, cơ chế phá hoại của các của tấm sàn bê tông nhẹ và bê tông thường trong thí nghiệm này là khác nhau. Tấm sàn bê tông thường (tấm P1) thì bê tông vùng nén bị ép vỡ. Tấm sàn P1-N (1.4) và tấm sàn P1-N (1.6) thì có sự bóc tách trượt giữa hai lớp sàn (lớp bê tông nhẹ phía dưới và bê tông thường đổ bù phía trên). Với sàn P1-N (1.4) và sàn P1-N (1.6) lần lượt tương ứng tại tải trọng 41 KN và 55 KN thì bắt đầu xuất hiện vết nứt bong tách giữa hai lớp sàn. Hình ảnh phá hoại của 3 sàn thể hiện trên Hình 7 (a, b, c). Hiện tượng bóc tách trượt giữa lớp bê tông nhẹ (ở dưới) và lớp bê tông nặng (ở trên) do sự biến dạng dưới tải trọng khác nhau của hai loại bê tông này. Lưu ý rằng, trong trường hợp của tấm sàn thí nghiệm không có thép neo hay có cấu tạo liên kết đặc biệt giữa hai lớp này đã dẫn đến hiện tượng này. Độ võng tại thời điểm phá hoại tấm sàn bê tông nhẹ P1-N (1.6) và P1-N (1.4) thấp hơn khá nhiều so với tấm sàn bê tông thường (54,1 mm), tương ứng bằng 63,5 và 53%.

a) Phá hủy bê tông của tấm sàn P1



b) Phá hủy tách giữa hai lớp bê tông trên tấm sàn P1-N (1.6)

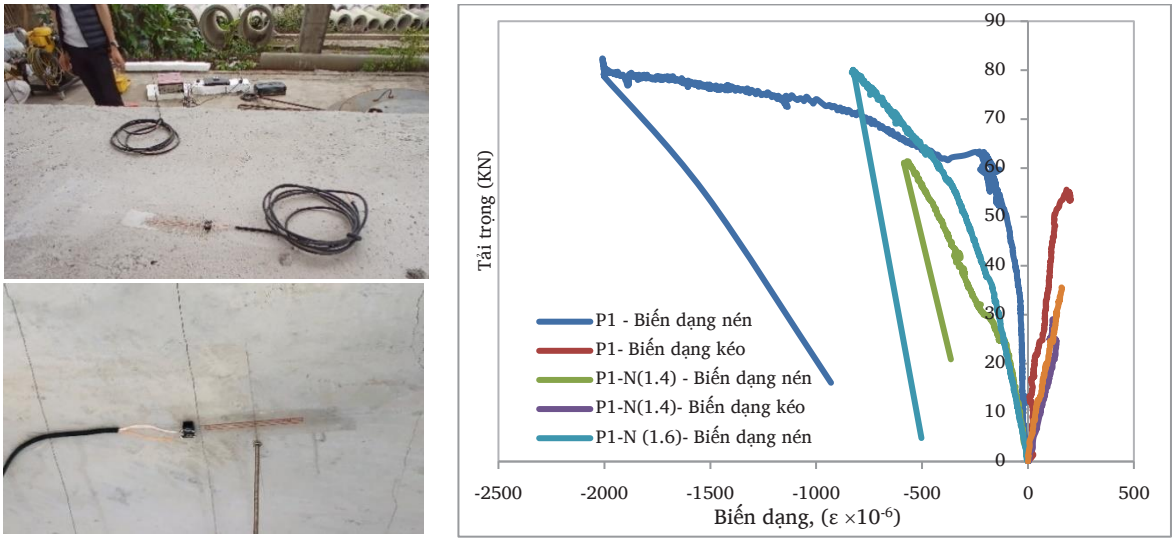


c) Phá hủy tách giữa hai lớp bê tông trên tấm sàn P1-N (1.4)

Hình 7. Phá hủy bê tông của các tấm sàn thí nghiệm.

4.2. Quan hệ giữa tải trọng và biến dạng của bê tông

Các biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và biến dạng của bê tông vùng kéo và vùng nén (P – ε) ở tiết diện giữa nhịp của 3 cấu kiện tấm sàn thí nghiệm thể hiện trong Hình 8. Các giá trị biến dạng cực hạn ở các trạng thái làm việc đặc trưng của các tấm sàn thí nghiệm thể hiện trong Bảng 6.



Hình 8. Quan hệ tải trọng – biến dạng kéo, nén của bê tông trên các tấm sàn BTCT thí nghiệm.

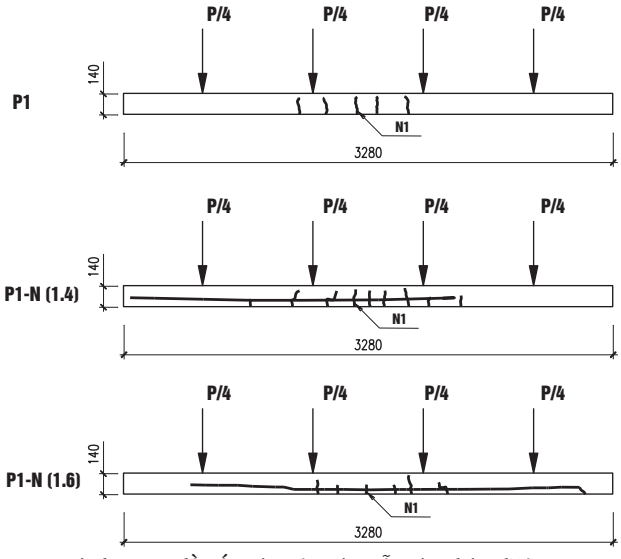
Có thể thấy biến dạng giới hạn khi xuất hiện vết nứt đầu tiên của các tấm sàn thí nghiệm là khác nhau. Tấm sàn bê tông thông thường P1 cho giá trị lớn nhất (1,19 ‰), tiếp theo đến tấm sàn P1-N (1.6) (1,16 ‰) và tấm sàn P1-N (1.4) (1,11 ‰). Đối với biến dạng ở độ võng cho phép và biến dạng cực hạn của vùng bê tông chịu nén thì lại ngược lại. Bê tông vùng chịu nén ở các trạng thái làm việc đặc trưng của tấm sàn P1 lớn hơn so với hai tấm sàn bê tông nhẹ. Điều này không phải do bê tông nhẹ có mô đun đàn hồi lớn hơn bê tông thường mà do các tấm bê tông nhẹ có bê tông vùng chịu kéo vẫn làm việc (như đã chỉ ra ở đường cong tải trọng - độ võng), việc mở rộng vết nứt vùng kéo chậm dẫn đến độ võng của tấm phát triển chậm là nguyên nhân giảm ứng suất nén gây ra biến dạng của bê tông vùng nén. Biến dạng cực hạn của tấm sàn P1 là 2,01‰ tương đối sát với giá trị biến dạng cực hạn thường lấy đối với bê tông thông thường theo TCVN 5574:2018. Với tấm bê tông nhẹ P1-N (1.6) và P1-N (1.4) thì biến dạng cực hạn của bê tông là 0,83 ‰ và 0,57 ‰ giảm tương ứng là 58,7% và 71,6% so với mẫu bê tông thông thường thí nghiệm.

Bảng 6. Các giá trị biến dạng tương đối của bê tông ở các trạng thái làm việc đặc trưng của các tấm sàn BTCT thí nghiệm.

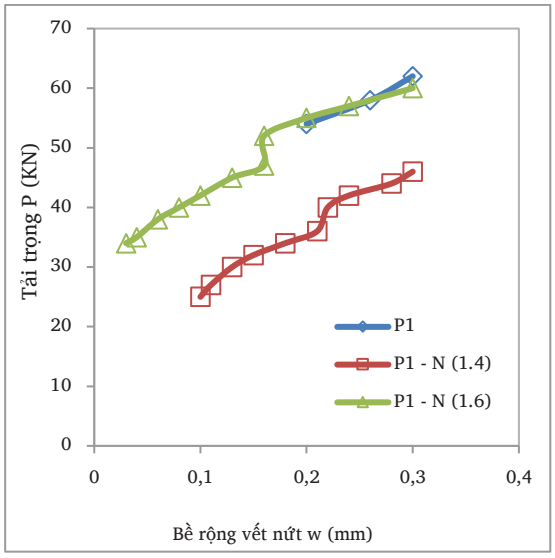
STT	Tên cấu kiện	Biến dạng vùng kéo khi cấu kiện bị nứt (‰)	Biến dạng bê tông vùng nén tại độ võng cho phép (‰)	Biến dạng cực hạn của bê tông vùng nén (‰)
1	Tấm sàn bê tông thường (P1)	0,19	-0,91	-2,01
2	Tấm sàn bê tông nhẹ (P1-N(1.6)	0,16	-0.60	-0,83
3	Tấm sàn bê tông nhẹ (P1-N(1.4)	0,11	-0,46	-0,57

4.3. Quan hệ giữa tải trọng và bề rộng vết nứt

Hình 9 trình bày sơ đồ vết nứt trên các tấm sàn thí nghiệm tại thời điểm tải trọng phá hủy. Bề rộng vết nứt của trên các tấm sàn thí nghiệm đã được tiến hành đo đạc dưới tác dụng của tải trọng thể hiện trong Hình 10. Tải trọng đo được của tấm P1, P1-N (1.6) và P1-N (1.4) tại thời điểm bề rộng vết nứt được đo là 0,3 mm (giá trị giới hạn chiều rộng vết nứt cho phép đối với bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018) tương ứng là 62, 60 và 46 KN.



Hình 9. Sơ đồ vết nứt trên các mẫu sàn thí nghiệm.



Hình 10. Quan hệ tải trọng – bề rộng vết nứt của 3 tấm sàn thí nghiệm.

Có thể thấy rằng hai tấm sàn bê tông nhẹ xuất hiện nhiều vết nứt phân bố đều từ vị trí giữa nhịp so với tấm sàn bê tông thường. Tuy nhiên, chiều rộng vết nứt của hai tấm bê tông nhẹ là rất nhỏ so với chiều rộng vết nứt của tấm bê tông thường. Bề rộng vết nứt đầu tiên của tấm sàn bê tông nhẹ P1-N (1.6) và P1-N (1.4) lần lượt là 0,03 mm và 0,10 mm so với 0,2 mm của tấm P1. Hai tấm sàn bê tông nhẹ phát triển chiều rộng các vết nứt chậm và đều, trong khi các vết nứt của tấm sàn bê tông thường phát triển nhanh. Quan sát tại thời điểm phá hủy

của các tấm sàn thí nghiệm cho thấy, tấm sàn bê tông thường hình thành các vết nứt rộng, độ võng lớn dẫn đến vùng chịu nén bị phá hủy, trong khi hai tấm sàn bê tông nhẹ các vết nứt vùng chịu kéo chiều rộng nhỏ hơn khá nhiều, bê tông vùng chịu nén chưa bị phá hủy nhưng cấu kiện bị phá hủy so sự tách lớp và trượt của lớp bê tông nhẹ bên dưới và lớp bê tông thường đổ bù ở phía trên.

5. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu ứng xử của tấm sàn bê tông nhẹ và bê tông thường dưới tải trọng có thể đưa ra một số kết luận sau:

- Sự làm việc của tấm sàn BTCT thử nghiệm dưới tải trọng có thể chia ra làm hai giai đoạn đó là giai đoạn đàn hồi (làm việc của bê tông vùng kéo) và giai đoạn làm việc của cốt thép cùng với bê tông vùng nén sau khi bê tông vùng kéo bị nứt. Điểm khác của tấm sàn FAC-HSLWC so với tấm sàn bê tông thường đó là bê tông vùng chịu kéo vẫn tiếp tục làm việc cùng với cốt thép sau khi xuất hiện vết nứt đầu tiên do sự làm việc của cốt sợi PP trong FAC-HSLWC. Đối với tầm sàn FAC-HSLWC trong thí nghiệm này do sự liên kết chưa tốt giữa lớp bê tông FAC-HSLWC phía dưới và lớp bê tông thường phía trên nên cơ chế phá hoại đối với tấm sàn FAC-HSLWC thí nghiệm là do dự tách lớp và trượt của hai lớp bê tông chứ chưa phải là phá hủy vùng nén như đối với tấm sàn bê tông thường;
- Tải trọng xuất hiện vết nứt đầu tiên của tấm sàn FAC-HSLWC là thấp hơn khá nhiều so với tấm sàn bê tông thường, nhưng tải trọng tại độ võng cho phép (L/150) và tải trọng cực hạn thì có xu hướng tương đương hoặc cao hơn so với tấm sàn bê tông thường với bê tông có cùng cường độ nén. Tải trọng cực hạn của các tấm sàn FAC-HSLWC lớn hơn so với tải trọng cực hạn tính toán thiết kế.
- Về độ võng dưới tải trọng, độ võng của tấm sàn FAC-HSLWC phát triển nhanh hơn ở giai đoạn đàn hồi sau đó phát triển chậm hơn ở giai đoạn sau. Điều này là do chiều rộng vết nứt đầu tiên và tốc độ mở rộng vết nứt của tấm sàn FAC-HSLWC là nhỏ hơn khá nhiều so với tấm sàn bê tông thường. Tại thời điểm phá hủy độ võng của tấm sàn FAC-HSLWC thấp hơn khá nhiều so với tấm sàn bê tông thường (bằng khoảng 63,5%). Về xuất hiện, phân bố và kích thước vết nứt, tấm sàn FAC-HSLWC xuất hiện vết nứt sớm và xuất hiện nhiều vết nứt hơn so tấm sàn bê tông thường, trong khi tấm sàn bê tông thường xuất hiện vết nứt muộn hơn nhưng vết nứt có chiều rộng lớn và phát triển nhanh cả về chiều dài và chiều rộng. Tại thời điểm phá hủy chiều rộng vết nứt tấm sàn bê tông thường lớn hơn rất nhiều so với tấm sàn bê tông nhẹ.

Tài liệu tham khảo

[1]. Hoàng Minh Đức, "Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ cách nhiệt kết cấu sử dụng hạt Polystyrol phồng nở," *Tạp chí KHCN Xây dựng,* pp. 39-47, 2017.

[2]. S. D. N. Bartake P. P., "Determination of crushing strength of cenospheres," *Journal of ASTM International,* vol. 2, no. 7, pp. 1-9, 2005.

[3]. F. Liu, J. Wang, X. Qian, and J. Hollingsworth, "Internal curing of high performance concrete using cenospheres," *Cement and Concrete Research,* vol. 95, pp. 39-46, 2017.

[4]. K. M. A. Sohel, Liew, J.Y.R., Yan, J.B., Zhang and M.H. and Chia, K.S, "Behavior of steel-concretesteel sandwich structures with lightweight cement composite and novel shear connectors," *Compos. Struct.,* vol. 94, pp. 3500-3509, 2012.

[5]. Nguyễn Duy Hiếu, Trương Thị Kim Xuân, Phùng Văn Lự and Trần Bá Việt, "Nghiên cứu sự làm việc của tấm sàn bê tông Keramzit dưới tải trọng phân bố đều," *Khoa học Công nghệ Xây dựng,* vol. 3, pp. 18-23, 2010.

[6]. Đặng Văn Phú, "Nghiên cứu sự làm việc của bê tông cốt sợi thép," *Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường,* vol. 63, pp. 98-102, 12/2018.