

Nghiên cứu so sánh ứng suất, biến dạng trong sàn phẳng lõi rỗng BTCT theo các mô hình tính

Thái Mạnh Cường^{1*}, Hoàng Đức Thắng¹

¹ Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Số 55 đường Giải Phóng, Hai Bà Trưng, Hà Nội

TỪ KHOÁ

Sàn phẳng
Ứng suất
Biến dạng
Phần tử hữu hạn

TÓM TẮT

Sàn phẳng lõi rỗng là giải pháp đang rất phổ biến được áp dụng rộng rãi vào các công trình xây dựng dân dụng ở Việt Nam và trên Thế giới. Sàn lõi rỗng có cấu tạo kết cấu không gian 3D với lõi rỗng chèn giữa sàn choán chỗ phần bê tông vùng trung hòa làm giảm trọng lượng sàn nhưng vẫn giữ nguyên độ cứng. Các ưu điểm nổi bật có thể kể đến của sàn lõi rỗng như khả năng vượt nhịp lớn, tăng khả năng cách âm, cách nhiệt giúp tiết kiệm năng lượng, giảm giá thành trong xây dựng và phù hợp với trào lưu xây dựng xanh trên Thế giới. Bài báo này sẽ nghiên cứu các phương pháp tính toán kết cấu, phân tích ứng suất và chuyển vị của sàn phẳng lõi rỗng thông qua các bài toán thực tế. Từ đó so sánh kết quả của các phương pháp tính với kết quả đo đạc được tại công trình sàn phẳng lõi rỗng ngoài thực tế. Bài báo sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn của mô hình 3D trong phần mềm thương mại Etabs và Ansys để mô phỏng nội lực của sàn khu lõi rỗng và khu nắm đặc đầu cột. Kết quả và dữ liệu phân tích đạt được trong nghiên cứu này có thể làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư thiết kế.

KEYWORDS

Flat slab
Stresses
Deformation
Finite element method

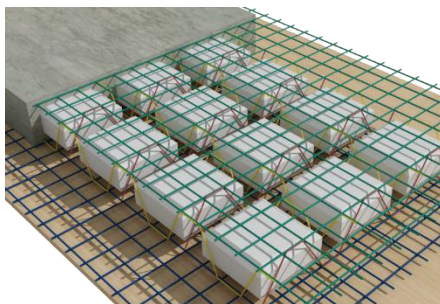
ABSTRACT

Hollow core floor has a 3D spatial structure with a hollow core inserted between the floor occupying the concrete in the neutral zone, reducing the amount of floor but keeping the stiffness. The outstanding advantages can be mentioned of the hollow core floor such as the ability to overcome large spans, increase the ability of sound, heat insulation to save energy, reduce construction costs in line with the trend of green construction in the world. This paper aims to examine the methods of structural calculation and stress analysis of hollow core flat slab through actual case. Then, comparing the results of the calculation methods with the measured ones at the actual projects using hollow core flat slab. The finite element method of 3D modeling in commercial Etabs and Ansys software was used to simulate the stresses of the hollow core slab and the column mushroom area. The achieved results and analytical data of this study can be used as a reference for engineers.

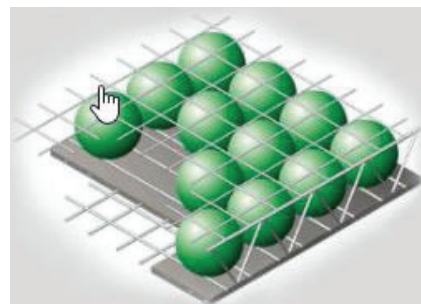
1. Giới thiệu

Sàn phẳng lõi rỗng là sàn bê tông cốt thép có lõi rỗng dạng hộp, cầu, hình chóp cụt được sử dụng nhằm mục đích loại bỏ phần bê tông vùng trung hòa ít tham gia chịu lực giúp giảm trọng lượng. Giải pháp sàn này đang bắt đầu được sử dụng phổ biến tại Việt Nam trong thời

gian gần đây nhằm mục đích giảm trọng lượng sàn, vượt nhịp lớn, cách âm cách nhiệt và tiết kiệm chi phí xây dựng. Sàn phẳng lõi rỗng gồm các loại như Hình 1.



(a) Sàn lõi rỗng bằng xếp VRO

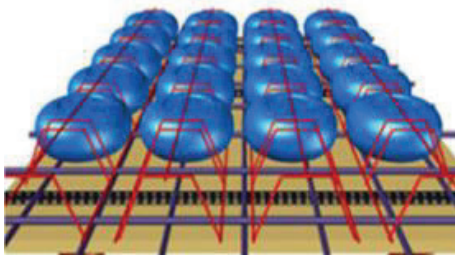


(b) Sàn lõi rỗng bằng bóng (Bubble Deck)

*Liên hệ tác giả: cuongtm@huce.edu.vn

Nhận ngày 12/01/2023, sửa xong ngày 18/02/2023, chấp nhận đăng 31/03/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2023.451>



(c) Sàn lồi rỗng Cobiax



(d) Sàn lồi rỗng bằng hộp nhựa (Uboot)

Hình 1. Các dạng công nghệ sàn phẳng lồi rỗng.

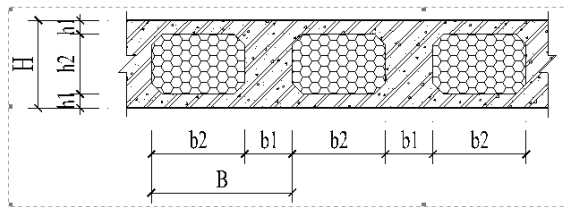
Mặc dù có rất nhiều ưu điểm so với giải pháp sàn dầm truyền thống và các giải pháp sàn phẳng khác nhưng giải pháp sàn VRO còn gặp nhiều trở ngại do chưa nhiều người hiểu sâu sắc về sự làm việc của kết cấu sàn lồi rỗng. Việc đưa ra các giải pháp tính toán kết cấu, nghiên cứu ứng suất, biến dạng trong sàn phẳng lồi rỗng giúp cho người kỹ sư có thêm sự lựa chọn phù hợp khi áp dụng tính toán thiết kế công trình sàn phẳng vượt nhịp đảm bảo chất lượng cho công trình và dần đưa giải pháp sàn lồi rỗng ưu việt hơn đi vào tiềm thức người sử dụng trong nước.

2. Phương pháp tính

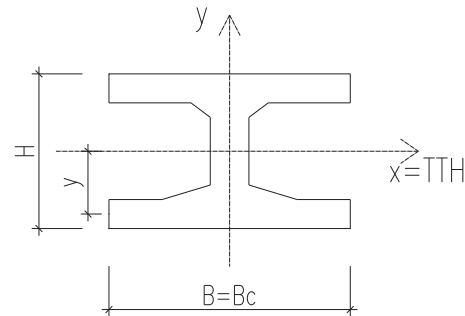
2.1. Phương pháp giải tích

Sàn lồi rỗng có cấu tạo rỗng tại vùng giữa, vùng có ứng suất tương đối nhỏ khi sàn chịu uốn. Phần bê tông còn lại có thể được tính

toán giống như các dầm chữ I xếp liên tiếp, liên kết với nhau tại bản cánh (Hình 2.a). Đối với sàn chịu tải trọng đơn giản (sàn có lưới cốt đều đặn, tải trọng trên sàn phân bố đều), có thể tách ra các cấu kiện dầm chữ I hình chịu uốn ngang phẳng (Hình 2.b).



(a) Mặt cắt ngang qua sàn lồi rỗng



(b) Mặt cắt ngang dầm chữ I chịu uốn ngang phẳng

Hình 2. Quy đổi sàn phẳng lồi rỗng.

Sử dụng các công thức sức bền vật liệu để tính toán ra các thành phần ứng suất và biến dạng của sàn phẳng lồi rỗng:

$$\sigma_z = \frac{M_x}{I_x} y \quad \tau_{zy} = \frac{Q_y S_x^c}{I_x b_c} \quad (1)$$

$$\varphi(z) = \int -\frac{M_x}{EI_x} dz + C \quad y(z) = \int \left(\int -\frac{M_x}{EI_x} dz + C \right) dz + D \quad (2)$$

Trong đó:

σ_z, τ_{zy} lần lượt là ứng suất pháp và ứng suất tiếp của tại mặt cắt ngang dầm

M_x, Q_y lần lượt là nội lực moment và lực cắt tại mặt cắt sàn

I_x là moment quán tính của mặt cắt ngang với trục X

B_c là chiều rộng mặt cắt ngang tại điểm tính ứng suất

S_x^c là moment tĩnh của mặt cắt

$\varphi(z), y(z)$ lần lượt là độ võng và góc xoay của dầm

C, D là hai hằng số tích phân được xác định theo điều kiện biên chuyển vị

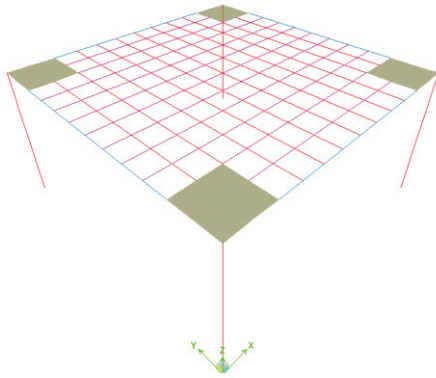
Tuy nhiên trong thực tế công trình thường có kết cấu lưới cột phức tạp, tải trọng tập trung hoặc phân bố không đều. Cần dùng các

mô hình phần tử hữu hạn để tính toán sẽ cho kết quả chính xác và tiết kiệm thời gian. Tuy nhiên hầu hết các mô hình tính toán kết cấu phổ biến hiện nay đều sẽ có sai số do không mô hình chính xác được hình học sàn rỗng, chỉ có một số mô hình có thể làm được việc này như mô hình khối bằng phần mềm Ansys giúp việc mô phỏng sát hơn với thực tế. Trong nghiên cứu này tác giả sẽ sử dụng mô hình bằng phần mềm Ansys và so sánh kết quả với phần mềm Etabs phổ thông hiện nay.

2.2. Các phương pháp phần tử hữu hạn

2.2.1. Mô hình hệ không gian bằng phần tử frame trong phần mềm Etabs

Hệ sàn phẳng lồi rỗng được mô hình bằng hệ dầm chữ I trực giao thông qua phần tử frame liên kết tại nút. Mô hình này cho khả năng mô hình tương đối nhanh, phản ánh tương đối chính xác độ cứng tổng thể cho công trình (Hình 3).

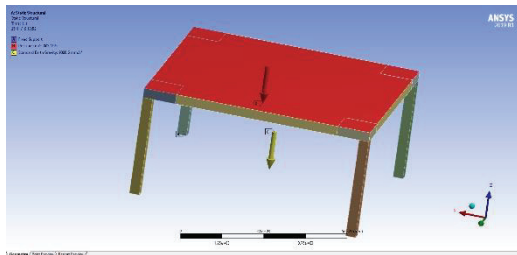


Hình 3. Mô hình sàn lõi rỗng bằng phần tử Frame trong Etabs (Frame).

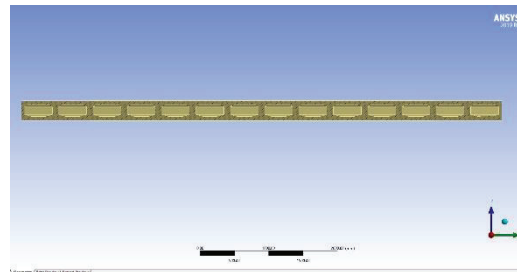
Tuy nhiên, Phương pháp này chỉ phù hợp với các công trình quy mô vừa và hạn chế chỉ có thể tính toán ứng suất sàn phẳng ở khu vực rỗng thông qua nội lực phần tử thanh.

2.2.2. Mô hình dạng toàn khối solid bằng phần mềm Ansys

Để mô hình dạng toàn khối solid mô hình hệ sàn phẳng lõi rỗng bằng các phần tử solid sử dụng phần mềm phần tử hữu hạn Ansys (Hình 4). Đây là mô hình cho kết quả sát với thực tế nhất do mô phỏng được các kích thước hình học lỗ rỗng. Tuy nhiên, dạng mô hình này cần nhiều thời gian xây dựng và phụ thuộc vào phần cứng máy tính chỉ phù hợp với nhiên cứu, đánh giá.



(a) Sơ đồ tổng thể

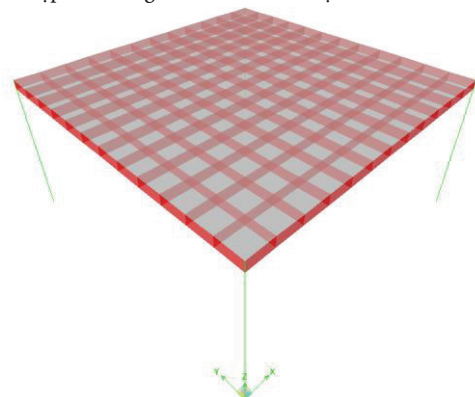


(b) mặt cắt sàn

Hình 4. Mô hình sàn lõi rỗng bằng phần tử solid theo phần mềm Ansys 2019R1.

2.2.3. Mô hình hệ không gian bằng phần tử shell trong phần mềm Etabs

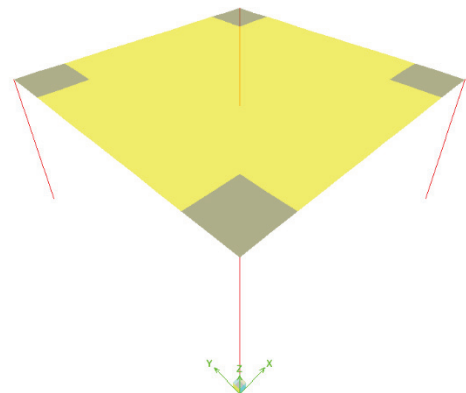
Trong mô hình tính toán này, hệ sàn phẳng lõi rỗng gồm phần sàn rỗng và phần nắm đầu cột được mô hình bằng các phần tử shell liên kết không gian chia làm bản sườn và bản cánh. Bản sườn được mô phỏng bằng phần tử wall, bản cánh mô phỏng là phần tử slab liên kết với nhau qua phần tử nút (Hình 5). Mô hình hóa gần đúng trên cơ sở đáp ứng được yêu cầu độ cứng của tiết diện quy đổi và tiết diện thực tế là bằng nhau. Mô hình tương đương có mô men quán tính I_x và trọng lượng P tương đương với mô hình thực tế. Đây là dạng mô hình gần nhất với và cho ít sai số nhất so với mô hình sạng solid. Mô hình này đã đơn giản hơn nhiều so với mô hình toàn khối solid tuy nhiên vẫn còn tương phức tạp và không khả thi với các dự án lớn.



Hình 5. Mô hình sàn lõi rỗng bằng phần tử shell trong Etabs (Wall).

2.2.4. Mô hình hệ không gian bằng dạng bản phẳng quy đổi (phần tử slab) trong Etabs

Ở dạng mô hình này, hệ sàn phẳng lõi rỗng được quy đổi tương đương về sàn đặc có cùng trọng lượng và độ cứng kháng uốn (Hình 6). Mô hình hóa gần đúng trên cơ sở đáp ứng được yêu cầu độ cứng của tiết diện quy đổi và tiết diện thực tế là bằng nhau. Mô hình tương đương có mô men quán tính I_x và trọng lượng P tương đương với mô hình thực tế.



Hình 6. Mô hình sàn lõi rỗng dạng bản phẳng quy đổi trong Etabs (Slab).

Đây là dạng mô phỏng đơn giản, thời gian mô hình nhanh, phù hợp với các dự án quy mô lớn. Tuy nhiên sai số đối với mô hình

solid là nhiều nhất. Trong bài báo tác giả sẽ đưa ra các sai số trong một số khoảng nhịp phổ biến để khi thiết kế các kỹ sư có thể cân nhắc tham khảo.

3. Kết quả khảo sát

Thông số đầu vào:

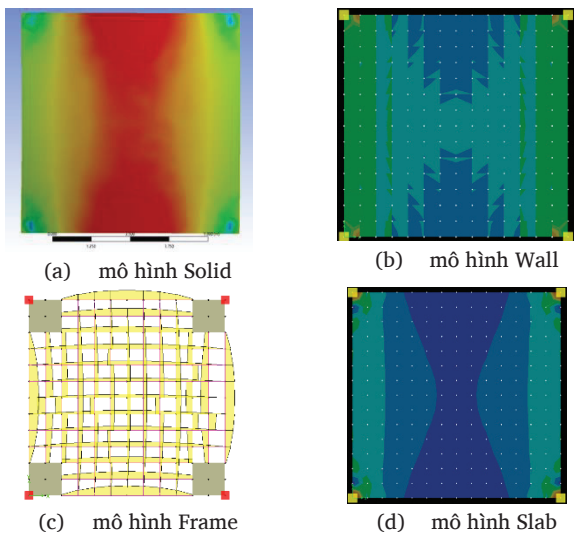
Thông số sàn					
Bước nhịp (m)	H sàn rỗng (mm)	H nắm (mm)	Bước nhịp (m)	H sàn rỗng (mm)	H nắm (mm)
6	250	250	10	390	390
7	290	290	11	420	420
8	320	320	12	460	460
9	360	360			

Thông số vật liệu				
Vật liệu	Cường độ kéo (Mpa)	Cường độ nén (Mpa)	Cường độ cắt (Mpa)	E (Mpa)
Bê tông B22.5	1,05	13		29000
Thép CB300V	280	280	225	210000
Thép CB400V	365	365	290	200000

Tải trọng tác dụng	
Tĩnh tải (kN/m ²)	1,2
Hoạt tải (kN/m ²)	1,5
Tường (kN/m ²)	4,0

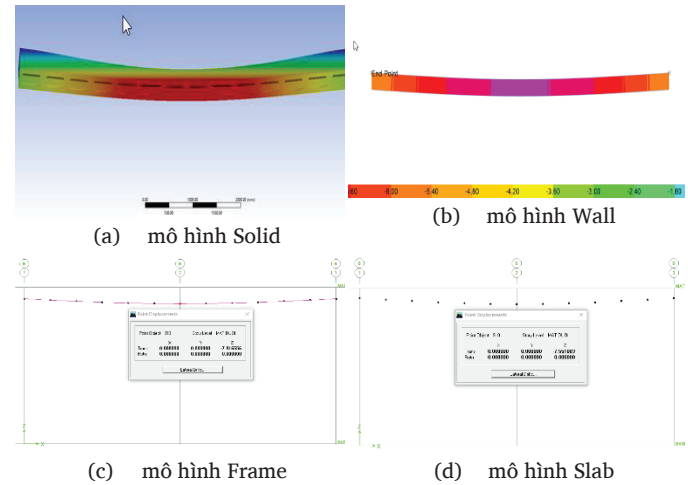
Kết quả và nhận xét:

Hình 7 cho thấy ứng suất đáy trong bản sàn rỗng thường tập trung ở giữa nhịp hai cột và lớn nhất ở tâm; ứng suất bản sàn tập trung chủ yếu ở nắm cột. Về phương pháp Frame và Slab, ứng suất được tính thông qua nội lực (Hình 7c và 7d).



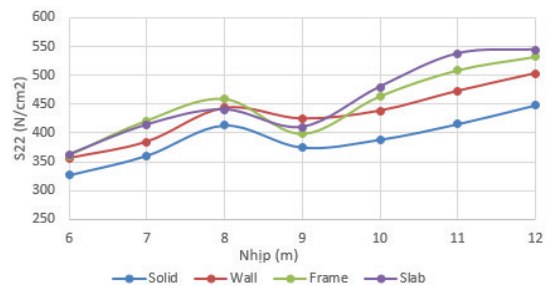
Hình 7. Ứng suất của sàn theo 4 phương pháp tính.

Hình 8 cho thấy độ võng của bản dịch chuyển dần về giữa nhịp và lớn nhất ở tâm. Các vị trí đầu cột không cứng tuyệt đối; Tuy nhiên, kích thước cột phải được tăng theo chiều dài nhịp để đảm bảo độ cứng của cột không nhỏ hơn độ cứng của bản.

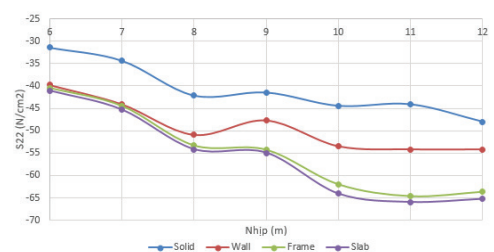


Hình 8. Chuyển vị của sàn theo 4 phương pháp tính.

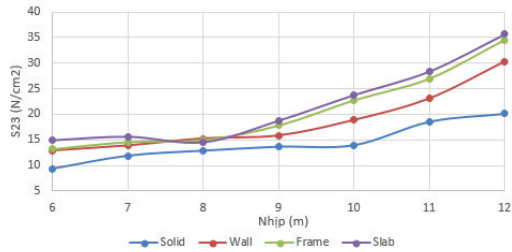
Hình 9 và Hình 10 thể hiện sự so sánh giữa các kết quả của ứng suất và độ võng theo 4 phương pháp tính toán trong nghiên cứu này. Trong Hình 9, ứng suất tăng từ 5-10 % ở các nhịp 5-7 m và tại các nhịp này sai số (chỉ từ 1-3 %) là nhỏ so với kết quả khi sử dụng mô hình solid. Ứng suất tăng từ 10-15 % ở nhịp 8-12 m. Tuy nhiên, từ nhịp 9m trở lên sai số lớn hơn, tương ứng 5-10 % đối với mô hình tường, 10-15 % đối với mô hình khung và sàn chuyển đổi. Đồng thời nhận thấy ứng suất của phương pháp solid luôn cho kết quả ứng suất nhỏ nhất, phương pháp khung (Frame) và phương pháp sàn quy đổi (Slab) cho kết quả ứng suất lớn nhất.



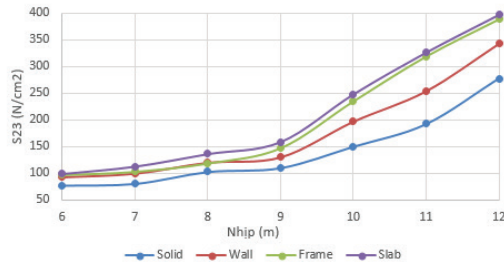
(a) ứng suất S22 bản đáy



(b) ứng suất S22 bản mặt



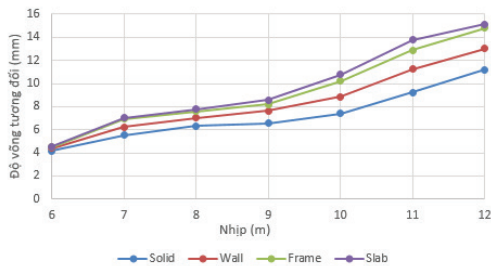
(c) ứng suất S23 bản sườn



(d) ứng suất S23 bản nầm

Hình 9. So sánh ứng suất của sàn rỗng theo các mô hình.

Hình 10 cho thấy độ võng trong sàn lõi rỗng cũng tăng dần khi nhịp tương ứng tăng lên. Độ võng tăng từ 20-40 % ở nhịp 5-7 m và sai số so với mô hình Solid từ 6-12 %; Đối với nhịp từ 8-12 m, độ võng chỉ tăng từ 15-30 %, tuy nhiên sai số ở các nhịp này là 12-24 %. Đồng thời có thể thấy độ võng của mô hình Solid luôn cho kết quả độ võng nhỏ nhất, phương pháp khung (Frame) và phương pháp sàn quy đổi (Slab) cho kết quả độ võng lớn nhất.



Hình 10. So sánh chuyển vị sàn rỗng theo các mô hình.

Theo báo cáo thử tải thực tế [4] và so với báo cáo thiết kế của dự án “Nhà máy sản xuất đầu cuối thiết bị thông minh” tại Hòa Lạc được thiết kế theo phương pháp sàn phẳng quy đổi (Slab), kết quả nứt và võng của báo cáo thiết kế nhỏ hơn 15% với nhịp 9m và nhỏ hơn 20 % với nhịp 12,5m. Kết quả trên phù hợp với kết quả nghiên cứu của bài báo.

4. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày việc ứng dụng các phương pháp tính toán bằng các mô hình khác nhau (mô hình Solid, Wall, Frame và Slab) để tính toán ứng suất và chuyển vị trong sàn phẳng lõi rỗng. Kết quả lại cho thấy: Phương pháp mô hình Wall cho kết quả gần nhất với thực tế (mô hình Solid) và phương pháp sàn quy đổi (Slab) cho sai số lớn nhất. Tuy nhiên, phương pháp theo mô hình Slab này lại thuận tiện hơn trong quá trình thiết kế; Sự khác biệt giữa mô hình tính và thực tế có thể chấp nhận được đối với nhịp của sàn từ 5 m đến 8 m, nhưng sự khác biệt đó là đáng kể đối với nhịp sàn dài hơn 9 m. Kết quả nghiên cứu này có thể làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư trong quá trình thiết kế.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội cho đề tài mã số 34-2022/KHXD.

Tài liệu tham khảo

- [1]. TCVN 5574-2018, *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*.
- [2]. TCVN 2737-1995, *Tải trọng tác động – tiêu chuẩn thiết kế*.
- [3]. TCVN 9344-2012, *Kết cấu bê tông cốt thép – Đánh giá độ bền của các bộ phận kết cấu chịu uốn trên công trình bằng phương pháp thí nghiệm chất tải tĩnh*.
- [4]. IBST (09/2019) *Báo cáo kết quả thử tải sàn BTCT bằng phương pháp chất tải tĩnh, công trình Nhà máy sản xuất thiết bị đầu cuối thông minh*
- [5]. Đinh Bá Trụ, *Hướng dẫn sử dụng Ansys*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà nội, 2000.
- [6]. Etabs 9.7.4, *Analysis Reference Manual*, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [7]. Website Công nghệ sàn VRO: <http://vro.vn/>
- [8]. Website Công nghệ sàn Uboot, Nevo: <http://nevovietnam.com/>