

Nghiên cứu đề xuất công cụ hỗ trợ tính toán và kiểm tra cốt pha nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế trong thiết kế biện pháp thi công

Nguyễn Thị Thảo Nguyên¹, Nguyễn Thị Khánh Ngân¹, Nguyễn Quốc Đạt¹, Nguyễn Ngọc Khương¹, Lê Thị Thanh Nhã¹

¹ Khoa Kỹ thuật & Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

TỪ KHOÁ

Độ võng giới hạn
TCVN 4453:1995
ACI 347-04
Biện pháp thi công cốt pha
Sai số nghiệm thu bề mặt bê tông

TÓM TẮT

Nghiên cứu xây dựng một công cụ tính toán tự động trên nền tảng Excel nhằm hỗ trợ nhanh quá trình thiết kế và kiểm tra cốt pha. Công cụ cho phép đề xuất các phương án bố trí phù hợp với mục tiêu thiết kế, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng vật liệu, giúp rút ngắn thời gian thiết kế biện pháp thi công mà vẫn đảm bảo yêu cầu an toàn. Kết quả tính toán từ công cụ được kiểm chứng thông qua so sánh với phương pháp tính thủ công, cho thấy sự tương đồng và độ tin cậy cao. Bên cạnh đó, trên cơ sở phân tích các tiêu chuẩn hiện hành (TCVN 4453:1995, ACI 347-04) và điều kiện thi công thực tế, nghiên cứu đề xuất điều chỉnh điều kiện độ võng giới hạn theo hướng phù hợp với sai số nghiệm thu bề mặt bê tông.

KEYWORDS

Allowable deflection
TCVN 4453:1995
ACI 347-04
Formwork construction methods
Concrete surface acceptance tolerance

ABSTRACT

This study develops an automated Excel-based calculation tool to support the rapid design and verification of formwork construction methods. The tool enables the selection of appropriate formwork arrangements to meet design objectives, thereby improving material efficiency, reducing design time, and ensuring structural safety. The results are validated through comparison with manual calculations, showing good agreement and reliability. In addition, based on an analysis of current standards (TCVN 4453:1995, ACI 347-04) and actual construction conditions, the study proposes revised allowable deflection limits to better align with concrete surface acceptance tolerance.

1. Giới thiệu

Trong thi công kết cấu bê tông cốt thép toàn khối, công tác thiết kế biện pháp thi công cốt pha đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo hình dạng, kích thước và chất lượng bề mặt cấu kiện. Tuy nhiên, việc bố trí hệ cốt pha và đà giáo phần lớn vẫn dựa trên kinh nghiệm của kỹ sư và đội thi công. Các nghiên cứu và công cụ hỗ trợ hiện có phần lớn dừng lại ở việc xây dựng các bảng tính hoặc phương pháp tính toán phục vụ kiểm tra riêng lẻ, chưa hình thành một công cụ tích hợp đầy đủ các bước từ xác định tải trọng, tính toán nội lực đến kiểm tra và đề xuất phương án bố trí. Đặc biệt, chưa có nhiều nghiên cứu công bố một công cụ hỗ trợ thiết kế cốt pha theo hướng công khai, có đánh giá để kiểm chứng.

Bên cạnh đó, các nghiên cứu hiện hành chủ yếu tập trung vào kiểm tra điều kiện chịu lực và biến dạng theo tiêu chuẩn, trong khi chưa làm rõ vai trò của các yếu tố thiết kế trong việc tối ưu phương án bố trí hệ cốt pha. Việc lựa chọn khoảng cách sườn, cây chống và cấu hình hệ đỡ trong thực tế vẫn phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm, chưa có nghiên cứu nào chỉ ra một cách có hệ thống các hướng tối ưu nhằm đồng thời giảm chi phí vật liệu, đảm bảo điều kiện chịu lực và cải thiện không gian thi công.

Xuất phát từ những vấn đề trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm phát triển một công cụ tính toán tự động trên nền tảng Excel nhằm hỗ trợ thiết kế và kiểm tra nhanh biện pháp thi công cốt pha, góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế và độ tin cậy trong quá trình thiết kế.

Nghiên cứu đã áp dụng quy phạm thi công và nghiệm thu theo TCVN 4453:1995 [1] để xây dựng công cụ tính nhanh. Tuy nhiên, khi kiểm tra độ võng giới hạn đối với các cấu kiện có nhịp nhỏ cho ra kết quả không hợp lý so với tiêu chuẩn nghiệm thu cho phép sai số nghiệm thu bề mặt bê tông và với thực tế thi công. Vì vậy, nghiên cứu đã đề xuất điều chỉnh điều kiện độ võng giới hạn khi thiết kế biện pháp thi công cốt pha theo hướng phù hợp hơn.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Tiêu chuẩn sử dụng

Nghiên cứu áp dụng tiêu chuẩn hiện hành TCVN 4453:1995 [1] và tham khảo thêm tiêu chuẩn ACI 347-04 [2] làm cơ sở tính toán.

Mục A.3 của TCVN 4453:1995 quy định giới hạn độ võng của các bộ phận cốt pha do tác động của tải trọng. Cụ thể, độ võng không được lớn hơn 1/400 nhịp đối với cốt pha của bề mặt lộ ra ngoài và 1/250 nhịp đối với bề mặt bị che khuất.

*Liên hệ tác giả: nguyenthithaonguyen@qnu.edu.vn

Nhận ngày 10/04/2026, sửa xong ngày 08/05/2026, chấp nhận đăng ngày 09/05/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2026.1356>

Mục 7.2.2 (Bảng 20 – các sai lệch cho phép khi thi công các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối) của TCVN 4453:1995 quy định các sai lệch cho phép khi thi công các kết cấu bê tông. Cụ thể, độ lệch của mặt bê tông so với mặt phẳng ngang tính cho 1 m mặt phẳng về bất cứ hướng nào có mức cho phép lên tới 5 mm.

Trong khi đó, tiêu chuẩn ACI 347-04 phân loại chất lượng bề mặt bê tông theo các cấp A, B, C, D, tương ứng với các mức sai lệch cho phép khác nhau (bảng 1).

Bảng 1. Sai lệch bề mặt cho phép của bề mặt bê tông tạo hình.

Loại bề mặt (Class of surface)	A	B	C	D
Dung sai (Hệ Inch)	1/8 in.	1/4 in.	1/2 in.	1 in.
Dung sai (Hệ Mét)	3 mm	6 mm	13 mm	25 mm

- Loại A: Thường dùng cho các bề mặt bê tông trang trí, yêu cầu độ thẩm mỹ cực cao.

- Loại B: Thường dùng cho các bề mặt thô nhám, tạo chân bám để thi công các lớp trát vữa, bả hoặc ốp lát sau này.

- Loại C: Thường dùng cho các bề mặt lộ diện thông thường, không yêu cầu thi công thêm lớp hoàn thiện nào khác.

- Loại D: Thường dành cho các bề mặt khuất, không yêu cầu độ phẳng cao (như móng hoặc các phần lấp đất).

- Bề mặt được đo trong phạm vi chiều dài 5 ft (1,5 m) bằng thước thẳng. Thước thẳng 5 ft (1,5 m) là dụng cụ tiêu chuẩn để đặt lên bề mặt và đo khe hở giữa thước và bề mặt nhằm xác định độ gồ ghề.

Việc phân cấp này là cơ sở quan trọng để đề xuất điều chỉnh độ vòng giới hạn phù hợp với thực tế thi công ở Việt Nam.

2.2. Cơ sở tính toán

Việc tính toán cốt pha nhằm mục đích đánh giá toàn diện khả năng làm việc của hệ cốt pha và xác định các khoảng cách bố trí hợp lý. Các bước tính toán được thực hiện theo trình tự:

- Xác định tải trọng tác dụng: Việc xác định tải trọng cần tuân theo nguyên tắc truyền và phân phối lực trong hệ kết cấu. Đồng thời, các tải trọng có thể được quy đổi tương đương nhằm thuận tiện cho việc thiết lập công thức và xử lý trong công cụ tính toán tự động.

- Tính toán nội lực: Việc tính toán nội lực được thực hiện trên cơ sở lựa chọn sơ đồ tính phù hợp và xác định các nội lực tương ứng, trong đó sơ đồ tính tương đương được sử dụng nhằm đảm bảo điều kiện làm việc an toàn của kết cấu.

- Kiểm tra điều kiện bền và điều kiện biến dạng (độ vòng): Việc kiểm tra được thực hiện dựa trên các đặc trưng cơ học của vật liệu nhằm đánh giá khả năng chịu lực và mức độ biến dạng của hệ cốt pha. Kết quả phân tích cho phép điều chỉnh phương án thiết kế khi chưa thỏa mãn yêu cầu, đồng thời làm cơ sở để xác định các khoảng cách bố trí sườn đứng (L_1), sườn ngang (L_2) và cây chống (L_3) hợp lý.

3. Công cụ tự động thiết kế

Nhằm khắc phục hạn chế về thời gian và tính lặp lại của phương pháp tính toán thủ công, nghiên cứu đã phát triển một công cụ tính toán tự động trên nền tảng Microsoft Excel. Công cụ được xây dựng dưới dạng các bảng tính (sheet) riêng biệt, tương ứng với từng loại cấu kiện như móng, cột, vách, sàn và dầm.

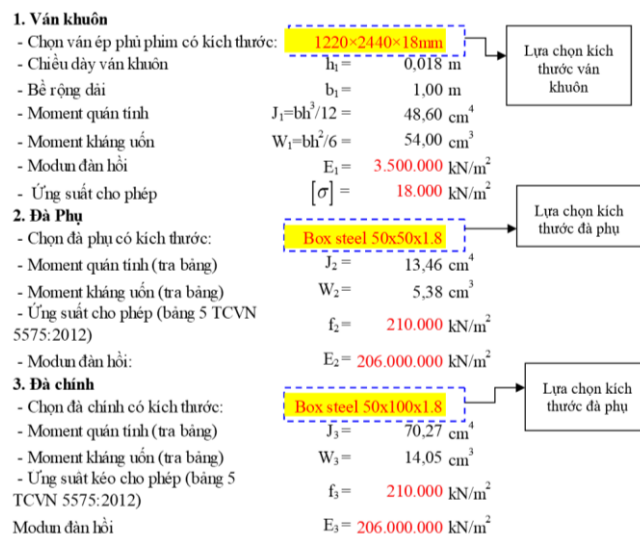
Công cụ được xây dựng với hệ thống các sheet chức năng, bao gồm:

- Sheet hướng dẫn sử dụng;
- Cơ sở dữ liệu vật liệu;
- Các sheet tính toán cho từng loại cấu kiện.

Người dùng nhập các thông số đầu vào như kích thước cấu kiện, loại vật liệu và tải trọng. Trên cơ sở đó, công cụ tự động thực hiện quá trình tính toán, kiểm tra và đề xuất phương án bố trí phù hợp.

3.1. Tự động tra cứu và xác định đặc trưng vật liệu

Công cụ tích hợp sẵn cơ sở dữ liệu vật liệu, cho phép tự động trích xuất các đặc trưng cơ học của tiết diện (mômen quán tính I_x , mômen kháng uốn W_x , diện tích tiết diện) khi người dùng lựa chọn loại vật liệu và tiết diện cấu kiện.



Hình 1. Xác định đặc trưng của vật liệu.

3.2. Tự động xác định tải trọng

Trên cơ sở các thông số đầu vào như kích thước cấu kiện, chiều dày lớp bê tông, các tải trọng được xác định và quy đổi về dạng tương đương phù hợp với sơ đồ tính toán. Tính năng này giúp giảm sai sót trong quá trình xác định tải trọng và đảm bảo tính nhất quán trong toàn bộ quá trình thiết kế.

Loại tải trọng	Ký hiệu	Tải tiêu chuẩn kN/m ²	n	Tải tính toán kN/m ²
Áp lực ngang của vữa bê tông mới đổ	q ₁	17,50	1,3	22,75
Tải trọng do dầm bê tông	q ₂	2	1,3	2,6
Tải trọng do dầm bê tông	q ₃	4	1,3	5,2
Tải trọng tác dụng	q	21,50		27,95

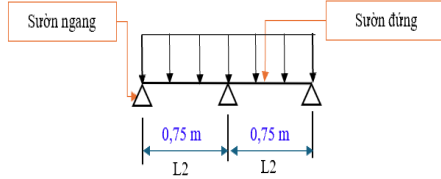
Hình 2. Thiết kế cốt pha móng – Xác định tải trọng tác dụng.

3.3. Xác định nhanh các thông số bố trí

Công cụ tính toán được phát triển trong nghiên cứu không chỉ phục vụ mục tiêu kiểm tra khả năng chịu lực mà còn hỗ trợ giải quyết bài toán kinh tế thông qua các hướng tối ưu hóa trong thiết kế biện pháp thi công.

3. Xác định khoảng cách sườn ngang:

- Sơ đồ tính:



- Tải tính toán: $q_2^t = 8,39 \text{ kN/m}$
- Tải tiêu chuẩn: $q_2^c = 6,45 \text{ kN/m}$
- + Số nhịp: **2**

- Điều kiện bền: $\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$

- Ta tính được L2: $L_2 \leq \sqrt{\frac{8[\sigma]W}{q_2^t}} = 0,927 \text{ m}$

- Điều kiện võng:

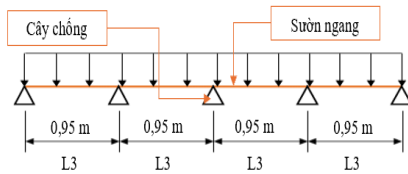
- Ta tính được L2: $L_2 \leq \sqrt[3]{\frac{384EI}{5 \times 250q_2^c}} = 1,017 \text{ m}$

- Chọn phương án:

=> Chọn: **PA 1** $L_2 = 0,75 \text{ m}$ Đầu thừa mỗi bên: 0 cm | Số lượng: 3 cây

4. Xác định khoảng cách của cây chống:

- Sơ đồ tính:



- Tải tính toán: $q_3^t = 20,96 \text{ kN/m}$
- Tải tiêu chuẩn: $q_3^c = 16,13 \text{ kN/m}$
- + Số nhịp: **>=3**

- Điều kiện bền: $\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$

- Ta tính được L3: $L_3 \leq \sqrt{\frac{10[\sigma]W}{q_3^t}} = 1,246 \text{ m}$

- Điều kiện võng khi sơ đồ tính là 1 dầm liên tục: $f = \frac{q_3^t L_3^4}{128EI} \leq [f] = \frac{L_3}{250}$

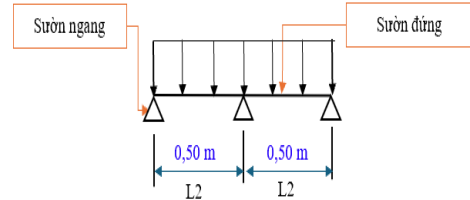
- Ta tính được L3: $L_3 \leq \sqrt[3]{\frac{128EI}{250q_3^t}} = 1,718 \text{ m}$

=> Chọn: $L_3 = 0,95 \text{ m}$ Đầu thừa mỗi bên: 15 cm | Số lượng: 7 cây

Hình 3. Thiết kế cốt pha móng – PA1.

3. Xác định khoảng cách sườn ngang:

- Sơ đồ tính:



- Tải tính toán: $q_2^t = 8,39 \text{ kN/m}$
- Tải tiêu chuẩn: $q_2^c = 6,45 \text{ kN/m}$
- + Số nhịp: **2** **Chọn lại**

- Điều kiện bền: $\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$

- Ta tính được L2: $L_2 \leq \sqrt{\frac{8[\sigma]W}{q_2^t}} = 0,927 \text{ m}$

- Điều kiện võng:

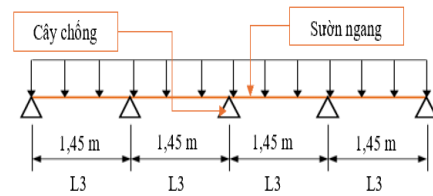
- Ta tính được L2: $L_2 \leq \sqrt[3]{\frac{384EI}{5 \times 250q_2^c}} = 1,017 \text{ m}$

- Chọn phương án:

=> Chọn: $L_2 = 0,50 \text{ m}$ Đầu thừa mỗi bên: 0 cm | Số lượng: 4 cây

4. Xác định khoảng cách của cây chống:

- Sơ đồ tính:



- Tải tính toán: $q_3^t = 13,98 \text{ kN/m}$
- Tải tiêu chuẩn: $q_3^c = 10,75 \text{ kN/m}$
- + Số nhịp: **>=3**

- Điều kiện bền: $\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$

- Ta tính được L3: $L_3 \leq \sqrt{\frac{10[\sigma]W}{q_3^t}} = 1,526 \text{ m}$

- Điều kiện võng khi sơ đồ tính là 1 dầm liên tục: $f = \frac{q_3^t L_3^4}{128EI} \leq [f] = \frac{L_3}{250}$

- Ta tính được L3: $L_3 \leq \sqrt[3]{\frac{128EI}{250q_3^t}} = 1,967 \text{ m}$

=> Chọn: $L_3 = 1,45 \text{ m}$ Đầu thừa mỗi bên: 10 cm | Số lượng: 5 cây

Hình 4. Thiết kế cốt pha móng – PA2.

- Tối ưu hệ chống và không gian thông qua các phương án bố trí

Công cụ tính toán được xây dựng cho phép tự động so sánh các phương án bố trí khác nhau, từ đó hỗ trợ kỹ sư lựa chọn giải pháp phù hợp theo mục tiêu kinh tế – kỹ thuật của công trình.

Phương án 1 (PA1) - Tiết kiệm vật liệu: Khoảng cách sườn chính (L_2) được lựa chọn ở giá trị lớn nhất thỏa mãn đồng thời điều kiện bền và điều kiện độ võng. Phương án này giúp giảm số lượng sườn

chính, từ đó tiết kiệm vật liệu. Tuy nhiên, do tải trọng tập trung nhiều hơn tại các gối đỡ, khoảng cách cây chống (L_3) có xu hướng giảm, dẫn đến mật độ hệ chống tăng (hình 3).

Phương án 2 (PA2) - Tối ưu không gian và hệ chống: Trong phương án này, thuật toán tự động bổ sung thêm 1 thanh sườn chính để khống chế L_2 luôn nhỏ hơn 1,2 m. Việc tăng cường sườn chính giúp phân tán tải trọng đều hơn, từ đó cho phép tăng khoảng cách cây chống (L_3). Kết quả là hệ chống được bố trí thưa hơn, góp phần giảm chi phí và cải thiện không gian thao tác thông thoáng cho công nhân (hình 4).

- Tối ưu hệ cây chống theo vị trí làm việc

Hệ cây chống được phân chia theo các vị trí làm việc khác nhau nhằm xác định chính xác tải trọng tác dụng, từ đó lựa chọn loại cây chống phù hợp, đảm bảo yêu cầu chịu lực và tối ưu chi phí (hình 5).

- Cây chống tại vị trí biên phía trên: Đối với cây chống biên, do điều kiện làm việc bất lợi về vị trí nhưng mức tải trọng tác dụng nhỏ hơn (xấp xỉ 50 % so với cây chống giữa), có thể sử dụng cây chống thép điều chỉnh nhằm đảm bảo an toàn và tối ưu chi phí.

- Cây chống tại vị trí giữa: Do làm việc trong điều kiện gần đáy hố móng (chiều cao cây chống nhỏ) và chịu tải trọng lớn hơn so với vị trí biên, có thể sử dụng cây chống thép hộp hoặc cây chống gỗ tùy theo điều kiện vật liệu sẵn có.

+ Trường hợp sử dụng cây chống thép hộp:

Khả năng chịu lực của cây chống thép hộp được xác định dựa theo TCVN 5575:2024 [3].

+ Trường hợp sử dụng cây chống gỗ:

Khả năng chịu lực của cây chống gỗ được xác định dựa theo sổ tay tính toán kết cấu gỗ của Đoàn Định Kiến và Lê Ứng Tường [4].

- Cây chống vị trí biên phía trên:

Lực tập trung tính toán truyền vào cây chống với góc nghiêng $\alpha = 45^\circ$:

$$P = q^* \times L_m \times L_{cc} \times \frac{1}{\cos(45^\circ)} = 27,95 \times 0,7 \times 0,95 \times \sqrt{2} = 14,08(\text{kN}) = 1408(\text{kg})$$

Chọn cây chống thép Hòa Phát loại K102 $l_{cay\ chống} = 2,121\text{m}$ có $[P] = 1960\text{kG}$

Vậy $[P] = 1960\text{kG} > P = 1408\text{kG} \Rightarrow$ Thỏa điều kiện.

- Cây chống giữa:

$$P = \frac{L_2 L_3 q_{tt}}{\cos(\alpha)} = \frac{0,7 \times 0,95 \times 21,45}{\cos(45^\circ)} = 28,16\text{kN}$$

+ Dùng cây chống thép hộp (Box steel 50x50x1.8):

$$[P] = \gamma_c A \varphi f_t = 1 \times 3,47 \times 0,857 \times 210000 / 10000 = 62,48\text{kN}$$

Vậy $[P] = 62,48\text{kN} > P = 28,16\text{kN} \Rightarrow$ Thỏa điều kiện.

+ Dùng cây chống gỗ: (5cmx10cm)

$$[P] = 0,8 A \varphi f_c = 0,8 \times 50 \times 0,535 \times 13500 = 28,89\text{kN}$$

Vậy $[P] = 28,89\text{kN} > P = 28,16\text{kN} \Rightarrow$ Thỏa điều kiện.

Hình 5. Tối ưu hệ cây chống theo vị trí làm việc.

4. Kiểm chứng kết quả

Sau khi tiến hành tính toán thủ công cho các cấu kiện điển hình và đối chiếu trực tiếp với kết quả từ phần mềm Excel, các khoảng

cách của các sườn và cây chống giữa tính toán thủ công và công cụ tính toán tự động là hoàn toàn trùng khớp. Kết quả so sánh giữa phương pháp tính toán thủ công và công cụ tự động đối với một cấu kiện điển hình được thể hiện trong hình dưới đây.

- Kiểm tra độ bền cho ván khuôn: $\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$

$$L_1 \leq \sqrt{\frac{10[\sigma]W}{q_{vankhuon}^{tt}}} = \sqrt{\frac{10 \times 18 \times 10^3 \times 54 \times 10^{-6}}{27,95}} = 0,590(\text{m})$$

- Kiểm tra độ võng cho ván khuôn:

$$\text{Độ võng khi sơ đồ tính là dầm liên lục: } f = \frac{q_{vankhuon}^{tc} L_{sd}^4}{128EI} \leq [f]$$

$$\Rightarrow L_{sd} \leq \sqrt[3]{\frac{128EI}{250q_{vankhuon}^{tc}}} = \sqrt[3]{\frac{128 \times 3,5 \times 10^6 \times 48,6 \times 10^{-8}}{250 \times 21,5}} = 0,343(\text{m})$$

Ta chọn khoảng cách giữa 2 sườn đứng là $L_{sd} = 0,3\text{m}$.

a) Kết quả tính theo phương pháp thủ công.

- Tải trọng tác dụng lên ván khuôn có bề rộng là 1 m:

- Tải tính toán: $q_1^{tt} = 27,95 \text{ kN/m}$

- Tải tiêu chuẩn: $q_1^{tc} = 21,50 \text{ kN/m}$

+ Số nhịp: **>=3**

- Điều kiện bền: $\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$

- Ta tính được L_1 : $L_1 \leq \sqrt{\frac{10[\sigma]W}{q_1^{tt}}} = 0,590 \text{ m}$

- Điều kiện võng:

- Ta tính được L_1 : $L_1 \leq \sqrt[3]{\frac{128EI}{250q_1^{tc}}} = 0,343 \text{ m}$

=> Chọn: $L_1 = 0,30 \text{ m}$ **Đầu thừa mỗi bên: 0 cm**

b) Kết quả tính theo công cụ tự động.

Hình 6. Thiết kế sườn đứng của cốp pha móng.

- Kiểm tra bền:

$$\sigma \leq [\sigma] \Leftrightarrow \frac{q_{sd}^{tt} L_{sn}^2}{8W} \leq [\sigma]$$

$$\Rightarrow L_{sn} \leq \sqrt{\frac{[\sigma] 8W}{q_{sd}^{tt}}} = \sqrt{\frac{21 \times 10^4 \times 8 \times 4,289 \times 10^{-6}}{8,39}} = 0,927(\text{m})$$

- Kiểm tra độ võng:

$$f \leq [f] \Leftrightarrow \frac{5q_{sd}^{tc} L_{sn}^4}{384EI} \leq \frac{L_{sn}}{250}$$

$$\Rightarrow L_{sn} \leq \sqrt[3]{\frac{384EI}{5 \times 250 \times q_{sd}^{tc}}} = \sqrt[3]{\frac{384 \times 20,6 \times 10^7 \times 10,72 \times 10^{-8}}{5 \times 250 \times 6,45}} = 1,017(\text{m})$$

Ta chọn khoảng cách giữa 2 sườn ngang là $L_{sn} = 0,75\text{m}$

a) Kết quả tính theo phương pháp thủ công

- Tải tính toán: $q_2^{tt} = 8,39 \text{ kN/m}$
- Tải tiêu chuẩn: $q_2^{tc} = 6,45 \text{ kN/m}$
- + Số nhịp: **2**
- Điều kiện bền: $\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$
- Ta tính được L2: $L_2 \leq \sqrt{\frac{8[\sigma]W}{q_2^{tc}}} = 0,927 \text{ m}$
- Điều kiện võng:
- Ta tính được L2: $L_2 \leq \sqrt[3]{\frac{384EI}{5 \times 250q_2^{tc}}} = 1,017 \text{ m}$
- Chọn phương án: **PA 1**
- => Chọn: $L_2 = 0,75 \text{ m}$ Đầu thừa mỗi bên: **0 cm**

b) Kết quả tính theo công cụ tự động

Hình 7. Thiết kế sườn ngang của cốp pha móng.

- Kiểm tra độ bền:
- $\sigma = \frac{M}{W} = \frac{q_{sn}^2 L_{caychong}^2}{10W} \leq [\sigma] = 21 \times 10^4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
- $\Rightarrow L_{caychong} \leq \sqrt{\frac{21 \times 10^4 \times 10W}{q_{sn}^2}} = \sqrt{\frac{21 \times 10^4 \times 10 \times 15,5 \times 10^{-6}}{20,96}} = 1,246 \text{ (m)}$
- Kiểm tra độ võng:
- $f \leq [f] \Leftrightarrow \frac{q_{sn}^4 L_{caychong}^4}{128EI} \leq \frac{L_{caychong}}{250}$
- $\Rightarrow L_{caychong} \leq \sqrt[3]{\frac{128EI}{250 \times q_{sn}^4}} = \sqrt[3]{\frac{128 \times 20,6 \times 10^7 \times 77,52 \times 10^{-8}}{250 \times 16,13}} = 1,718 \text{ (m)}$

Ta chọn khoảng cách giữa 2 cây chống là $L_{caychong} = 0,95 \text{ m}$

a) Kết quả tính theo phương pháp thủ công

- Tải tính toán: $q_3^{tt} = 20,96 \text{ kN/m}$
- Tải tiêu chuẩn: $q_3^{tc} = 16,13 \text{ kN/m}$
- + Số nhịp: **>3**
- Điều kiện bền: $\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$
- Ta tính được L3: $L_3 \leq \sqrt{\frac{10[\sigma]W}{q_3^{tc}}} = 1,246 \text{ m}$
- Điều kiện võng khi sơ đồ tính là 1 dầm liên tục: $f = \frac{q_3^2 L_3^4}{128EI} \leq [f] = \frac{L_3}{250}$
- Ta tính được L3: $L_3 \leq \sqrt[3]{\frac{128EI}{250q_3^2}} = 1,718 \text{ m}$
- => Chọn: $L_3 = 0,95 \text{ m}$ Đầu thừa mỗi bên: **15 cm** | Số lượng: **7 cây**

b) Kết quả tính theo công cụ tự động

Hình 8. Thiết kế cây chống của cốp pha móng.

- Cây chống vị trí biên phía trên:
- Chọn cây chống thép Hòa Phát loại K102 $l_{caychong} = 2,121 \text{ m}$ có $[P] = 1960 \text{ kG}$
- Vậy $[P] = 1960 \text{ kG} > P = 1408 \text{ kG} \Rightarrow$ Thỏa điều kiện.
- Cây chống giữa:
- + Dùng cây chống thép hộp (Box steel 50x50x1.8):
- $[P] = \gamma_c A \phi f_c = 1 \times 3,47 \times 0,857 \times 210000 / 10000 = 62,48 \text{ kN} \Rightarrow$ Thỏa điều kiện.
- + Dùng cây chống gỗ: (5cmx10cm)
- $[P] = 0,8 A \phi f_c = 0,8 \times 50 \times 0,535 \times 13500 = 28,89 \text{ kN} \Rightarrow$ Thỏa điều kiện.
- Vậy cây chống đảm bảo khả năng chịu lực.
- a) Kết quả tính theo phương pháp thủ công

5. Kiểm tra cây chống:

Góc chống: **45°**

- a) Cây chống tăng: **K-102** Với $L = 2,121 \text{ m}$
 - Lực tác dụng lên 1 cây chống: **P** **14.08 kN**
 - Khả năng chịu lực cho phép: **[P]** **19.60 kN**
- b) Cây chống gỗ: **5cmx10cm**
 - Lực tác dụng lên 1 cây chống: **P** **28.16 kN**
 - Khả năng chịu lực cho phép: **[P]** **28.89 kN**
- c) Cây chống thép hộp: **Box steel 50x50x1.8**
 - Lực tác dụng lên 1 cây chống: **P** **28.16 kN**
 - Khả năng chịu lực cho phép: **[P]** **62.47 kN**

b) Kết quả tính theo công cụ tự động

Hình 9. Kiểm tra cây chống của cốp pha móng.

Giao diện của công cụ được thiết kế trực quan, trình bày đầy đủ và chi tiết các bước tính toán, giúp người dùng dễ dàng theo dõi, hiểu rõ quy trình và thuận tiện trong quá trình sử dụng.

5. Độ võng giới hạn

Kết quả phân tích cho thấy việc áp dụng cứng nhắc điều kiện độ võng không được lớn hơn 1/400 nhịp đối với các cấu kiện có nhịp nhỏ là chưa phù hợp với thực tế thi công.

Xét trường hợp điển hình với nhịp $L = 300 \text{ mm}$, độ võng giới hạn theo tiêu chuẩn chỉ là 0.75 mm, trong khi sai lệch cho phép của bề mặt bê tông theo tiêu chuẩn nghiệm thu lên tới 5 mm. Điều này dẫn đến sự không đồng bộ giữa thiết kế và nghiệm thu, đồng thời gây lãng phí vật liệu.

Trên cơ sở tham khảo tiêu chuẩn ACI 347-04 và điều kiện thi công thực tế ở Việt Nam, nghiên cứu đề xuất điều chỉnh điều kiện độ võng giới hạn theo hướng phù hợp với sai số nghiệm thu bề mặt bê tông. Cụ thể:

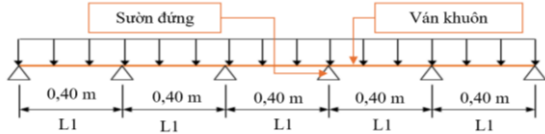
Độ võng giới hạn $[f]$ đối với cấu kiện lộ thiên:

$$[f] = \max\left(\frac{L}{400}; \Delta_{\max}\right) \quad (4)$$

Trong đó, $\Delta_{\max}$ là giá trị độ võng tuyệt đối dựa trên phân cấp bề mặt:

+ Chọn $\Delta_{\max} = 3 \text{ mm}$: Đối với cốp pha của bề mặt lộ ra ngoài của kết cấu và có yêu cầu bề mặt thẩm mỹ cao.

+ Chọn $\Delta_{\max} = 5 \text{ mm}$: Đối với cốp pha của bề mặt lộ ra ngoài của kết cấu và không yêu cầu bề mặt thẩm mỹ cao.



- Tải trọng tác dụng lên ván khuôn có bề rộng là 1 m:

- Tải tính toán: $q_1^{\text{tt}} = 27,95 \text{ kN/m}$

- Tải tiêu chuẩn: $q_1^{\text{tc}} = 21,50 \text{ kN/m}$

+ Số nhịp: **>=3**

- Điều kiện bền: $\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$

- Ta tính được L_1 : $L_1 \leq \sqrt{\frac{10[\sigma]W}{q_1^{\text{tt}}}} = 0,590 \text{ m}$

- Điều kiện võng khi sơ đồ tính là 1 dầm liên tục: $f = \frac{q_1^{\text{tc}} L_1^4}{128EI} \leq [f] = \max(\frac{L_1}{250}; 3\text{mm})$

- Ta tính được L_1 : $L_1 \leq \sqrt[3]{\frac{128EI}{250q_1^{\text{tc}}}} = 0,417 \text{ m}$

=> Chọn: $L_1 = 0,40 \text{ m}$ Đầu thừa mỗi bên: 0 cm | Số lượng: 16 cây

Hình 10. Thiết kế khoảng cách sườn đứng của cốp pha Móng với độ võng đề xuất.

6. Kết luận

Nghiên cứu đã chỉ ra sự chưa phù hợp khi áp dụng cường nhắc điều kiện độ võng giới hạn theo TCVN 4453:1995 đối với các cấu kiện có nhịp nhỏ. Nghiên cứu đã đề xuất điều chỉnh độ võng giới hạn theo

dạng kết hợp giữa giới hạn tương đối và giới hạn tuyệt đối phù hợp hơn với sai số nghiệm thu cho phép.

Nghiên cứu xây dựng một công cụ tính toán tự động trên nền tảng Excel, cho phép tích hợp quá trình xác định tải trọng, tính toán nội lực và kiểm tra khả năng làm việc, đồng thời hỗ trợ lựa chọn phương án bố trí hợp lý theo mục tiêu thiết kế.

Các kết quả nghiên cứu trên góp phần hỗ trợ tính toán và kiểm tra cốp pha, hướng tới nâng cao hiệu quả kinh tế trong thiết kế biện pháp thi công, đồng thời có khả năng ứng dụng trực tiếp trong giảng dạy và thực tiễn thiết kế biện pháp thi công.

Link tải file tính cốp pha:
<https://drive.google.com/drive/folders/1BSYUIKOsx--ZSGaMcllftmKxpe-FnuVL?usp=sharing>

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bộ Xây dựng, TCVN 4453:1995 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối - Quy phạm thi công và nghiệm thu, 1995.
- [2]. American Concrete Institute, ACI 347-04 - Guide to Formwork for Concrete, 2004.
- [3]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 5575:2024 - Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế, 2024.
- [4]. Đoàn Định Kiến và Lê Ứng Tường, Sổ tay kết cấu gỗ, NXB Xây dựng, 1984.
- [5]. Lều Thọ Trình, Cơ học kết cấu Tập 1 - Hệ tĩnh định, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2006.