

NGHIÊN CỨU QUY TRÌNH THI CÔNG BÙ CO CỘT NHÀ SIÊU CAO TẦNG THEO PHƯƠNG PHÁP BÙ CO DI CHUYỂN TỐI ƯU TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM

Nguyễn Đức Xuân^{a,*}, Hồ Ngọc Khoa^b, Nguyễn Sỹ Hùng^c, Nguyễn Thị Thanh Tùng^a

^a*Khoa Xây dựng, Trường Đại học Vinh, 182 đường Lê Duẩn, Thành phố Vinh, tỉnh Nghệ An, Việt Nam*

^b*Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

^c*Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, 01 đường Võ Văn Ngân, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Nhận ngày 26/05/2021, Sửa xong 26/06/2021, Chấp nhận đăng 01/07/2021

Tóm tắt

Trong bài báo này tác giả trình bày quy trình bù co cột nhà siêu cao tầng bằng phương pháp bù co di chuyển tối ưu MCO (Moving Compensation Optimization). Phương pháp MCO đã được nghiên cứu, tính toán bằng máy tính và tỏ rõ sự ưu việt khi có lượng nhóm bù co tối thiểu, giá trị bù của mỗi nhóm tối ưu và các giá trị vênh co sau bù được kiểm soát tốt trong giới hạn cho phép của yêu cầu kỹ thuật so với các phương pháp bù co gộp nhóm đều, bù co gộp nhóm di chuyển và bù co gộp nhóm tối ưu. Quy trình bù co theo MCO được áp dụng cho tòa nhà Lotte Center Hanoi cao 70 tầng và chứng tỏ được sự linh hoạt hiệu quả khi điều chỉnh phương án bù trong giai đoạn thi công thực tế, xử lý được các tình huống phát sinh cụ thể do biến động co ngắn cột xảy ra trong tiến trình xây dựng.

Từ khoá: co ngắn cột; vênh co; bù co di chuyển tối ưu; nhà siêu cao tầng; tiến trình xây dựng.

STUDY THE PROCEDURE OF COMPENSATION OF DIFFERENTIAL SHORTENING FOR SUPER-HIGH-RISE BUILDINGS BY THE METHOD OF MOVING OPTIMAL COMPENSATION FOR CONSTRUCTION PROJECTS IN VIETNAM

Abstract

In this paper, the authors present the procedure of compensation of differential shortening for super-tall buildings by the method of Moving Compensation Optimization (MCO). The MCO method has been studied as well as calculated by computers, and clearly shows its superiority. This method has the minimum number of groups of compensation, the minimized compensation value of each group, and the compensated differential shortening values well controlled within the permissible limits of technical requirements, in comparison with methods of Uniformal Compensation, Moving Averaging Correction method and Optimal Compensation method. This differential shortening compensation procedure will be applied for Lotte Center Hanoi building with 70 floors. The results of the compensation procedure prove the advantages of the method such as the effective flexibility to adjust the compensation plan in the actual construction phase, handling specific arising situations due to actual column shortening during construction sequences.

Keywords: column shortening; differential shortening; moving optimal compensation; super high-rise building; construction sequences.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(3V\)-03](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(3V)-03) © 2021 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: ducxuandhv@gmail.com (Xuân, N. Đ.)

1. Giới thiệu

Co ngắn cột (column shortening) là hiện tượng cấu kiện bê tông cốt thép theo phương đứng bị biến dạng làm cho cột (vách) ngắn hơn dưới tác dụng của tải trọng, co ngót và từ biến. Trong đó, biến dạng do co ngót và từ biến phụ thuộc vào lịch sử chất tải, tính chất vật liệu, độ ẩm môi trường, tiến độ thi công, tỷ lệ khối tích trên diện tích bề mặt của cấu kiện, hàm lượng cốt thép v.v... Vì vậy, co ngắn cột phụ thuộc vào thời gian và rất đáng kể khi công trình có chiều cao lớn như nhà siêu cao tầng (SCT). Sự co ngắn không đồng đều giữa cột, vách so với lõi cứng của tòa nhà trong cùng trong một mặt bằng được gọi là vênh co ngắn (differential column shortening) làm dầm sàn bị nghiêng, phát sinh nội lực trong cấu kiện ngang (dầm, sàn), hư hỏng hệ tường ngăn, vách kính và hệ thống kỹ thuật như ống nước, thang máy [1]. Có thể giảm thiểu vênh co bằng phương pháp tối ưu hóa thiết kế để phân phối ứng suất nén đồng đều trong các cấu kiện thẳng đứng như: sử dụng hệ dầm chìa hoặc dầm congson (outrigger); sử dụng các liên kết khớp tự do cho hệ kết cấu và lựa chọn hình dáng kiến trúc hợp lý [2]; tăng độ cứng dọc trục cho các cấu kiện được dự báo sẽ có co ngắn lớn bằng cách bổ sung thêm cốt thép [3]. Tuy nhiên, các giải pháp này làm phát sinh chi phí xây dựng tương đối lớn và khó đảm bảo được sự kiểm soát và khắc phục một cách đầy đủ vênh co trong quá trình thi công thực tế [4].

Một giải pháp đơn giản nhưng hiệu quả hơn là bù đắp lại giá trị vênh co bằng cách cung cấp trước cho cột một lượng thiếu hụt chiều cao do co ngắn trong quá trình thi công. Chiều cao của cột tại thời điểm thi công lớn hơn chiều cao so với thiết kế một giá trị vênh co tương ứng. Trên thế giới, các công trình siêu cao tầng Burj-Dubai Tower (Tiểu vương quốc Ả Rập thống nhất, 828 m, 164 tầng); Petronas Twin Tower (Malaysia, 432 m, 88 tầng); Jin Mao Building (Thượng Hải - Trung Quốc, 421 m, 88 tầng); Texas Commerce Tower (Mỹ, 305 m, 75 tầng); Federasia Tower – Moscow City (LB Nga, 506 m, 94 tầng) đã áp dụng phương pháp này. Ở Việt Nam các tòa nhà siêu cao tầng như Bitexco Financial Tower (269 m, 68 tầng), Keangnam Landmark 72 Hanoi (350 m, 72 tầng); Lotte Center Hanoi (272 m, 65 tầng); Vincom Landmark 81 (461 m, 81 tầng) cũng đều phải xem xét kiểm soát và xử lý bù co ngắn cột trong quá trình thi công. Tuy nhiên, toàn bộ quy trình thi công đang là bí mật công nghệ và không được phổ biến rộng rãi cho các đơn vị tư vấn thiết kế hay nhà thầu thi công của Việt Nam.

Trên cơ sở phân tích các ưu/nhược điểm của một số phương pháp bù co trước đây, như bù co gộp nhóm đều, bù co gộp nhóm di chuyển, bù co gộp nhóm tối ưu, Xuân và cs. [5, 6] đã đề xuất một phương pháp bù co mới có tên gọi Bù co di chuyển tối ưu MCO (Moving optimal compensation). Mục tiêu là lựa chọn được phương án bù co tốt nhất với số nhóm gộp tối thiểu và giá trị bù co tối ưu cho từng nhóm, sai số bù co được khống chế trong giới hạn cho phép. Ngoài ra, phương pháp đề xuất cũng dễ dàng áp dụng linh hoạt khi có giá trị co ngắn thực tế sai khác nhiều với co ngắn thiết kế dự báo, sử dụng được máy tính để tính toán.

Trong bài báo này, một quy trình thi công bù co ngắn trong xây dựng nhà siêu cao tầng ở Việt Nam được thiết lập để giải quyết các vấn đề: Thiết lập quy trình thi công bù co cụ thể, xử lý linh hoạt được các tình huống phát sinh khi giá trị bù co quan trắc thực tế và dự báo trong giai đoạn xây dựng sai khác so với giá trị bù co thiết kế; Xác định phương án bù hiệu quả nhất nhằm quản lý được sai số vênh co sau bù tích lũy tại mỗi cấp sàn, đạt tiêu chí kỹ thuật về an toàn sử dụng. Quy trình thi công được áp dụng cho tòa nhà Lotte Center Hanoi.

2. Quy trình bù co cho nhà siêu cao tầng

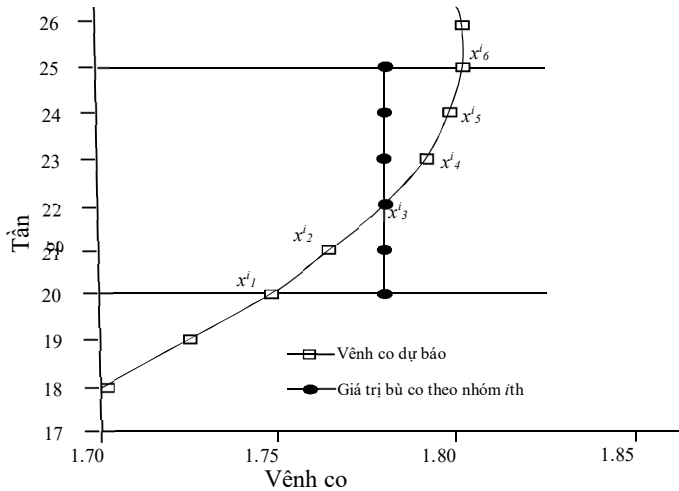
2.1. Phương pháp bù co di chuyển tối ưu

Các tầng trong tòa nhà được chia thành các nhóm tầng. Mỗi nhóm áp dụng một giá trị hiệu chỉnh như mô tả trong Hình 2. Gọi x_j^i là giá trị vênh co thiết kế dự báo của cấu kiện thẳng đứng tầng thứ j trong nhóm thứ i . Để đơn giản hóa công tác bù co trong quá trình thi công xây dựng thực tế, số lượng các nhóm gộp cần giảm thiểu, đồng nghĩa tăng tối đa số lượng tầng, N_i , trong mỗi nhóm. Mặt khác, sẽ có sai số giữa giá trị bù co thực tế và giá trị vênh co thiết kế dự báo. Giá trị hiệu chỉnh vênh co tại các tầng thuộc nhóm i , δ_i , cần được chọn sao cho sai số tích lũy giữa các giá trị vênh co thiết kế và giá trị bù co thực tế là nhỏ nhất. Trên cơ sở đó, hàm mục tiêu cho bài toán bù co tối ưu của nhóm thứ i được thiết lập theo công thức sau:

$$\min f(N_i, \delta_i) = -N_i + w \times \left| \sum_{k=1}^{i-1} \varepsilon_k + \sum_{j=1}^{N_i} (x_j^i - \delta_i) \right| \quad (1)$$

$$\varepsilon_k = \sum_{j=1}^{N_k} (x_j^k - \delta_k), \quad k = 1, \dots, i - 1 \quad (2)$$

trong đó, $w \geq 1$ là một trọng số; ε_k là tổng sai số giữa giá trị bù co và giá trị dự đoán vênh co của nhóm thứ k . Giá trị của trọng số w được chọn nhằm đảm bảo tương quan về trị số giữa hai số hạng trong hàm mục tiêu (ví dụ nếu đơn vị vênh co được lấy là mm, w có thể chọn bằng 1; còn nếu đơn vị dùng là m, khi đó sai số tích lũy sẽ có trị số rất nhỏ so với N_i nên ta cần chọn giá trị w đủ lớn).



Hình 1. Minh họa phương pháp bù co gộp nhóm di chuyển [6]

Để hạn chế độ nghiêng của sàn do sự thay đổi không đều của độ dài các cấu kiện thẳng đứng, sai số tại mỗi mức sàn phải nằm trong giới hạn cho phép, θ_i [6]. Ngoài ra, sai số tích lũy tính đến từng sàn, d_j^i , được giới hạn bởi giá trị ξ_i . Các điều kiện ràng buộc này được viết dưới dạng như sau [7]:

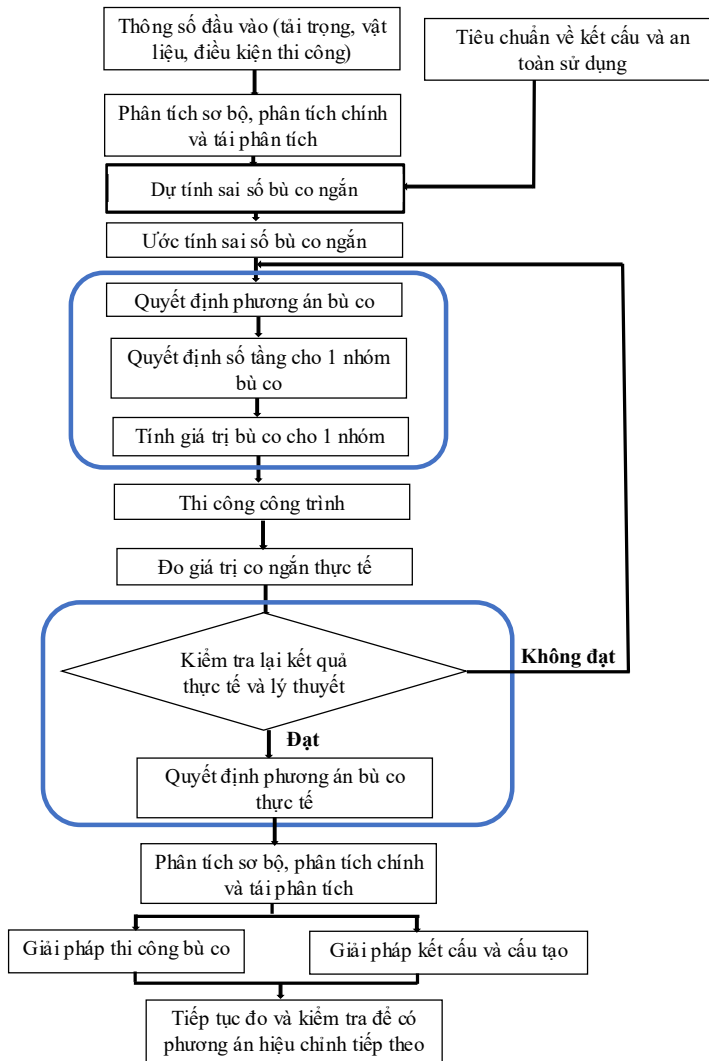
$$\left| x_j^i - \delta_i \right| \leq \theta_i \quad (3)$$

$$d_j^i = \left| \sum_{k=1}^{i-1} \varepsilon_k + \sum_{l=1}^j (x_l^i - \delta_i) \right| \leq \xi_i \quad (4)$$

Số tầng tối ưu N_i cùng với giá trị hiệu chỉnh δ_i cho nhóm thứ i được xác định thông qua giải bài toán tối ưu hóa (1) với điều kiện ràng buộc (3) và (4).

2.2. Quy trình chung xử lý thi công bù co cột

Quy trình chung thi công bù co được mô tả như Hình 2 [5]. Trên cơ sở dữ liệu cơ bản các cấu kiện đứng do Tư vấn thiết kế (TVTK) cung cấp, xác định giá trị vênh co giữa các cấu kiện đứng để chọn cấu kiện đứng có vênh co lớn hơn giới hạn theo yêu cầu kỹ thuật để xem xét bù co. Phương án bù co trong quá trình xây dựng có thể là bù co tuyệt đối (bù co riêng lẻ cho các cấu kiện) hoặc bù co theo nhóm gộp (gộp các cấu kiện riêng lẻ thành các nhóm bù). Tuy nhiên trên thực tế thường hay áp dụng phương pháp bù co gộp nhóm vì thi công đơn giản hơn rất nhiều. Phương án bù co gộp nhóm

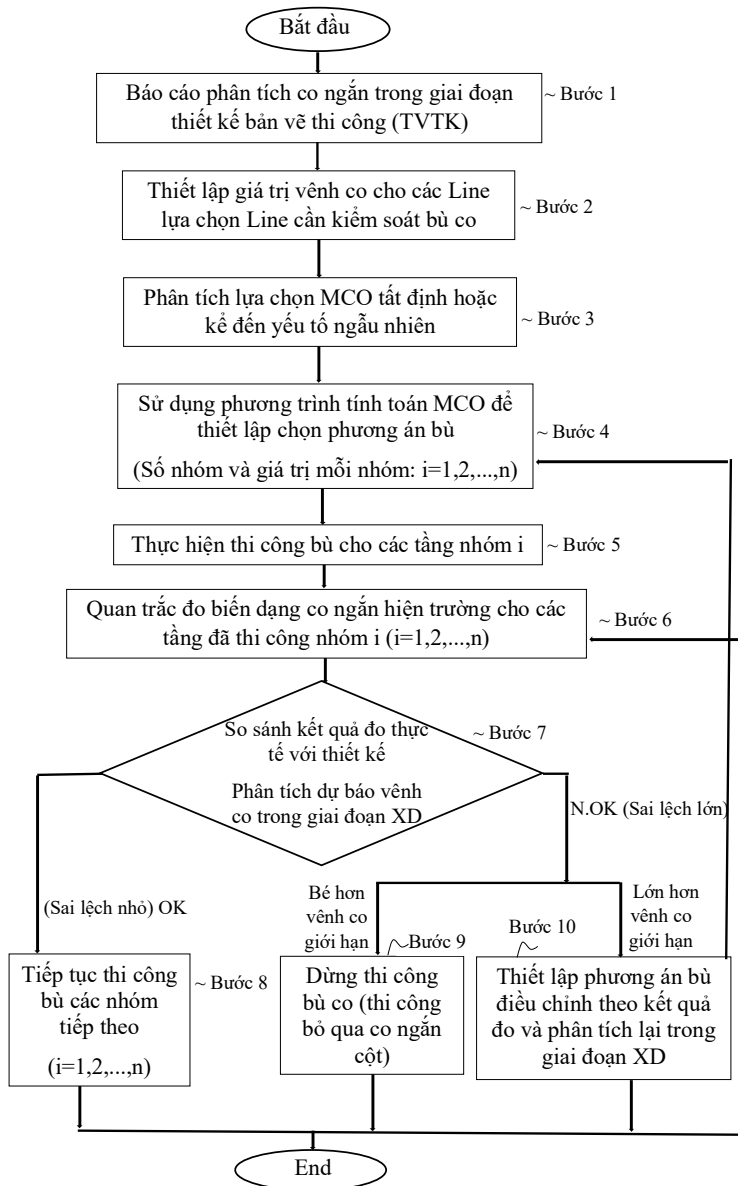


Hình 2. Quy trình chung công nghệ thi công bù co ngắn nhà SCT [5]

được quyết định bởi các thông số: Số tầng trong mỗi nhóm và giá trị bù của mỗi nhóm. Bù co sẽ chính xác khi giá trị vênh co dự báo là chính xác. Do đó việc quan trắc co ngấn các cấu kiện trong quá trình xây dựng là cần thiết để so sánh với giá trị co ngấn dự báo trong giai đoạn thiết kế bản vẽ thi công.

Theo quy trình chung này, khó khăn nhất là việc lựa chọn quyết định phương án bù co gồm các thông số: Số tầng trong mỗi nhóm và giá trị bù tương ứng của nhóm bù; Và phương án bù thực tế trong quá trình xây dựng sau khi có kết quả đo quan trắc hiện trường và giá trị dự báo vênh co trong quá trình xây dựng.

2.3. Đề xuất quy trình thi công bù co theo phương pháp Bù co di chuyển tối ưu MCO



Hình 3. Sơ đồ khối quy trình thi công bù co di chuyển tối ưu MCO

Trên cơ sở phương pháp Bù co di chuyển tối ưu MCO, tác giả đề xuất một quy trình thi công bù co linh hoạt trong quá trình xây dựng nhà siêu cao tầng bao gồm 10 bước như sau (Hình 3):

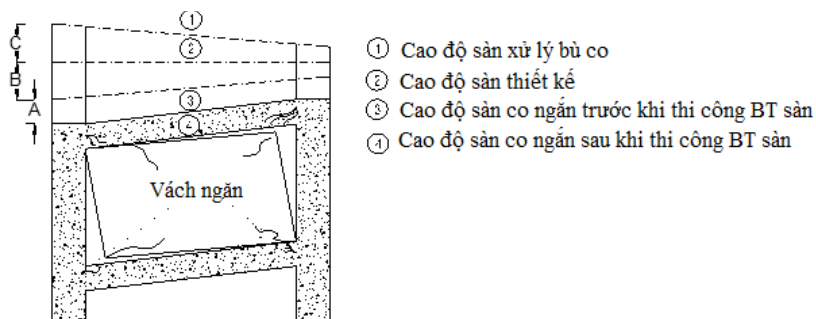
Bắt đầu

Xem xét hồ sơ thiết kế bản vẽ thi công, tiến độ thi công và các hồ sơ khác có liên quan; Kiểm tra các điều kiện công trường và các yếu tố môi trường thực tế; Xem xét hồ sơ phân tích dự báo co ngấn trong giai đoạn thiết kế bản vẽ thi công; Co ngấn dự báo được phân tích theo kết quả thí nghiệm đặc tính vật liệu và giả định điều kiện môi trường, tiến độ thi công gần giống thực tế; Kế hoạch quan trắc co ngấn và xử lý số liệu thu thập; Tổ chức thực hiện bù co hiện trường.

Bước 1: Báo cáo phân tích co ngấn trong giai đoạn thiết kế BVTC (TVTK)

Báo cáo phân tích co ngấn trong giai đoạn thiết kế bản vẽ thi công do TVTK cung cấp, được phân tích tại thời điểm ngày mục tiêu là 3 đến 5 năm sau khi công trình hoàn thành [1]. Để bù lại vênh co quá mức sẽ xảy ra trong tương lai thì việc xem xét tại thời điểm thi công bê tông sàn là đặc biệt quan trọng. Tổng giá trị co ngấn cột được xác định bởi trước và sau thi công bê tông sàn.

Xét giai đoạn biến dạng co ngấn cột ở Hình 4, cao độ thiết kế của sàn là vị trí 2. Trước khi thi công bê tông sàn cột đã bị co lại một lượng B và sàn bị nghiêng đến vị trí 3. Sau khi thi công bê tông sàn thì cột sẽ chịu tải trọng ngoài tải trọng bản thân và bị co ngấn thêm một lượng A (giá trị co ngấn sau khi thi công bê tông sàn) do biến dạng đàn hồi, co ngót và từ biến, sàn nghiêng đến vị trí 4. Tổng hai giá trị co ngấn này tương đối lớn. Tuy nhiên, trong kiểm soát bù co ngấn nhà SCT thì chỉ cần xét đến giá trị co ngấn A sau khi thi công bê tông sàn để phục vụ công tác bù co. Giá trị co ngấn B trước khi thi công sàn đã được tự bù rất đơn giản bằng cách thi công bê tông cột, lõi đến cao độ thiết kế (tự cân bằng). Giá trị bù co dự báo C gần giống giá trị co ngấn A.



Hình 4. Mô tả cơ chế biến dạng co ngấn trước và sau khi thi công bê tông sàn [1]

Bước 2: Thiết lập giá trị vênh co cho các Line và lựa chọn Line kiểm soát bù co

Trên cơ sở giá trị co ngấn của các cấu kiện đứng do TVTK cung cấp, thiết lập tính toán giá trị vênh co cho tất cả các “Line”. Line được định nghĩa ở đây là tuyến khung kết cấu tạo thành bởi 2 cấu kiện chịu tải trọng đứng là lõi cứng, cột và dầm liên kết, tính từ tầng hầm dưới cùng lên tầng tum công trình. Căn cứ vào yêu cầu kỹ thuật của thiết kế xác định được các “Line” có vênh co lớn hơn giá trị biến dạng cho phép theo thiết kế quy định cần xem xét bù co trong giai đoạn xây dựng. Giới hạn cho phép về biến dạng theo các tiêu chuẩn khác nhau là: Tiêu chuẩn Anh BS 8110-2:1997 [8], Tiêu chuẩn Eurocode 2 [9] chọn L/250 và L/500 hoặc 20mm (lấy giá trị nhỏ hơn); Tiêu chuẩn ACI 318-08 chọn L/240 và L/480 [7]; Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574-2018 [10] chọn L/250 và L/500, trong đó L

là nhịp dầm. Sau đó, chọn khung kết cấu chứa “Line” đã chọn để thực hiện bù co trong giai đoạn xây dựng.

Bước 3: Phân tích lựa chọn MCO tất định hoặc có tính đến yếu tố ngẫu nhiên

Chương trình sử dụng thuật toán MCO có sự hỗ trợ của máy tính được thiết lập cho trường hợp có kể đến yếu tố ngẫu nhiên (tính theo độ tin cậy) và trường hợp không kể đến yếu tố ngẫu nhiên tức MCO tất định (giá trị co ngắn được xem như tuyệt đối). Để đảm bảo công tác bù co chính xác hơn, TVTK cần cung cấp giá trị co ngắn dự báo theo xác suất độ tin cậy (kể đến các yếu tố ngẫu nhiên) kèm theo chỉ số độ tin cậy hoặc hệ số biến CV (Coefficient of Variation).

Bước 4: Sử dụng chương trình thuật toán MCO để thiết lập chọn phương án bù co

Tại bước này, nhập dữ liệu đầu vào cho chương trình tính MCO bao gồm: Tổng số tầng của tòa nhà; Giá trị vênh co thiết kế dự báo của mỗi tầng; Giá trị biến dạng cho phép do thiết kế quy định; Chỉ số độ tin cậy của giá trị co ngắn do thiết kế quy định. Áp dụng chương trình thuật toán MCO [11] để tính được kết quả: Số nhóm bù; Số tầng trong mỗi nhóm; Giá trị bù tương ứng của mỗi nhóm. Từ đó thiết lập kế hoạch phương án bù co nhóm cho tòa nhà. (Gọi là phương án chọn ban đầu)

Bước 5: Thực hiện thi công bù co các tầng nhóm tầng thứ i ($i = 1, 2, \dots$)

Kỹ thuật thực hiện bù co cho tầng và cho nhóm: Tiến hành thực hiện công tác thi công bù co hiện trường cho cột các tầng trong nhóm với phương án chọn ở Bước 4 theo nguyên tắc: hiệu chỉnh tất cả các tầng trong cùng một nhóm theo cùng một giá trị bù bằng cách điều chỉnh chiều dài cốp pha cột tầng thấp nhất của nhóm thêm một lượng bù co. Sau đó, các tầng tiếp theo phía trên trong nhóm không phải bù mà chỉ cần duy trì lượng hiệu chỉnh bù co đã bù ở tầng dưới, tức là chiều dài cốp pha cột giữ nguyên theo thiết kế (Hình 4). Cần lưu ý rằng, trong phương pháp MCO, thi công bù phải theo nguyên lý: Lấy cao độ thiết kế sàn làm chuẩn, phần bù được thi công tính từ cao độ sàn thiết kế. Do đó, lấy mốc cao độ sàn chuẩn tại mỗi mức sàn để thiết lập và căn chỉnh bù cho mỗi tầng, tức là giá trị bù co mỗi tầng được tính từ cao độ mốc chuẩn của sàn tương ứng. Vì vậy, phương pháp này phải cần thường xuyên đo kiểm tra thực tế cao độ chuẩn các sàn để hiệu chỉnh bù co chính xác nhằm tránh sai số do thi công (Hình 4).

Trong điều kiện công nghệ thi công nhà siêu cao tầng (SCT) ở Việt Nam thì chọn hình thức thi công bù co đỉnh cột là phù hợp nhất. Lý do phương án tổ chức thi công bê tông cột dầm sàn cho một tầng ở Việt Nam thường được chọn là: Đợt 1 thi công bê tông và tháo ván khuôn của hệ cột vách. Đợt 2 thi công bê tông dầm sàn liền khối. Do đó việc thi công bù co theo hình thức bù đỉnh cột đợt đơn giản và hiệu quả hơn, được tiến hành theo các bước: 1) Thi công bê tông cột theo đúng kích thước bản vẽ thiết kế và tháo ván khuôn cột; 2). Phần bê tông bù co được thi công liền khối với bê tông dầm sàn bằng cách lắp đặt cố định chắc chắn ván khuôn phần bù đỉnh cột và liên kết với đáy dầm (Hình 5).

Thi công bù co đỉnh cột được thực hiện theo trình tự: Gia công và lắp đặt khuôn gỗ hoặc thép phần bù có kích thước tiết diện theo tiết diện cột và chiều dày đúng bằng giá trị bù co bổ sung thêm vào vị trí nối giữa phần đỉnh ván khuôn cột và ván khuôn đáy dầm như mô tả trên Hình 5. Đặc điểm của hình thức này là chân cột được định vị chắc chắn trên sàn nên cột được thi công rất ổn định và chính xác thay vì cách thức bù co chân cột thì cốp pha cột phải tựa lên khuôn bù để mất ổn định hơn.

tắc: Phân nhóm cột theo tính chất hình học trên mặt bằng và tải trọng để theo dõi biến dạng co ngấn (thông thường các cấu kiện có vị trí trên mặt bằng và tải trọng tương đồng phân thành một nhóm); Áp dụng tính chất bố trí đối xứng hệ kết cấu trên mặt bằng (nên lắp đặt cảm biến cho các cấu kiện thuộc một nửa phần mặt bằng đối xứng và 1 đến 2 vị trí đặt ở phần nửa mặt bằng còn lại để đo đối chứng); Các cấu kiện đứng được dự báo ở đó xuất hiện vênh co lớn nhất. Lựa chọn vị trí đặt cảm biến trong cấu kiện: Thông thường vị trí cảm biến được lắp đặt cách mặt sàn khoảng 1 mét và được gắn chặt vào các thanh cốt thép của cấu kiện đứng [13].

Nguyên lý đo quan trắc co ngấn: Hệ thống giám sát co ngấn tự động sử dụng một mạng cảm biến không dây (WSN) (wireless sensor network). Các cảm biến đặt trong các cấu kiện đứng thu thập dữ liệu co ngấn và truyền dữ liệu đến các nút cảm biến bằng hệ thống truyền dữ liệu có dây. Sau đó, dữ liệu được truyền đến máy chủ để phân tích xử lý số liệu bởi một phần mềm chuyên dụng và hệ thống mạng LAN. Kết quả phân tích co ngấn tại máy chủ được truyền đến máy tính laptop, máy tính bảng và điện thoại thông minh của Kỹ sư quản lý giám sát co ngấn. Như vậy, công nghệ đo rất thuận tiện để cài đặt và quản lý trong quá trình xây dựng. Ngoài ra, rất nhiều dữ liệu có thể dễ dàng được đo từ nhiều cảm biến, và mức độ co ngấn cột trong một tòa nhà cao tầng có thể dễ dàng được phân tích theo tiến độ xây dựng.

Thu thập và xử lý số liệu: Hệ thống đo và cập nhật dữ liệu tự động, biến dạng được đo thường xuyên và so sánh với dữ liệu co ngấn thiết kế dự báo trong giai đoạn thiết kế bản vẽ thi công. Sử dụng dữ liệu đo để phân tích lại co ngấn trong các giai đoạn tiếp theo để có thể đề xuất giải pháp bù co cho các cấu kiện đứng chưa thi công một cách chính xác. Và kết quả đo dùng để kiểm chứng và phân tích co ngấn dự báo trong giai đoạn thi công tiếp theo [14].

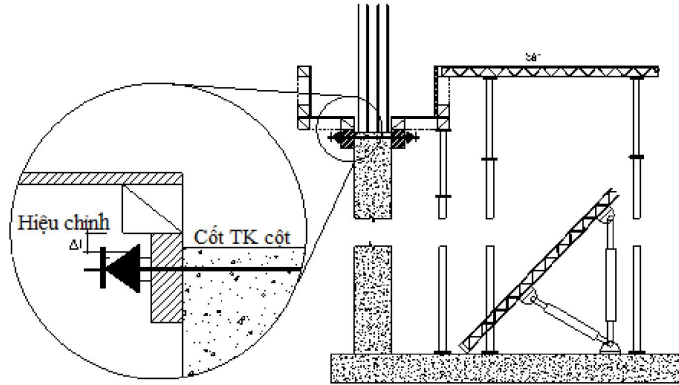
Bước 7: So sánh kết quả đo thực tế và thiết kế. Phân tích dự báo co ngấn trong giai đoạn xây dựng

Trong khi đang tiến hành thực hiện bù co theo phương án đã chọn ban đầu tại Bước 5. Nhà thầu phải luôn cập nhật kết quả đo hiện trường, so sánh vênh co dự báo trong giai đoạn xây dựng với giai đoạn thiết kế để có biện pháp ứng xử và điều chỉnh bù co kịp thời. Một số nghiên cứu đã kiến nghị sai số dưới 10% giá trị dự báo co ngấn thiết kế và co ngấn thực tế là chấp nhận được, sai số trên 10% cần thiết phải có sự điều chỉnh theo co ngấn thực tế [1, 4, 9]. Các trường hợp có thể xảy ra trong giai đoạn này gồm có: i) Kết quả đo và dự báo trong giai đoạn xây dựng gần giống với dự báo giai đoạn thiết kế BVTC thì tiếp tục thực hiện thi công bù co theo phương án đã chọn (xem Bước 8); ii) Kết quả đo và dự báo trong giai đoạn xây dựng sai khác nhiều so với dự báo trong giai đoạn thiết kế BVTC và vênh co lớn hơn giới hạn cho phép (xem Bước 9); iii) Kết quả đo và dự báo trong giai đoạn xây dựng có giá trị vênh co nhỏ hơn giới hạn cho phép (xem Bước 10).

Bước 8: Tiếp tục thi công bù co cho các nhóm tiếp theo

Thi công bù co chuyển lên các tầng và các nhóm tiếp theo (Kết quả đo thực tế và dự báo trong giai đoạn thi công xấp xỉ giai đoạn thiết kế bản vẽ thi công).

Thực hiện thi công bù co cột các tầng trong nhóm theo nguyên tắc: Bù co tầng thấp nhất trong nhóm với giá trị bù tương ứng của nhóm và lượng bù co được tính từ cao độ sàn thiết kế theo mốc chuẩn. Đối với phương pháp MCO thì các tầng tiếp theo của nhóm được bù theo hình thức duy trì giá trị đã bù của tầng thấp nhất trong nhóm (Hình 4). Tuy nhiên, vì luôn có sai số trong quá trình thi công bù nên trên thực tế khi thi công bù co theo MCO cần đảm bảo điều kiện cao độ sàn thiết kế sau bù cao hơn cao độ sàn thiết kế một lượng bằng giá trị bù co. Thực hiện thi công bù co cho nhóm tiếp theo xảy ra hai trường hợp: i) Nếu giá trị bù co của nhóm tiếp theo nhỏ hơn giá trị bù co của nhóm đã bù gần nhất phía dưới nó thì chế tạo chiều dài cốppha cột thực tế ngắn hơn chiều dài cốppha cột



Hình 6. Hình thức bù co đỉnh cột, lượng bù co đổ liền khối với bê tông dầm sàn

theo thiết kế một lượng bằng hiệu số của giá trị bù hai nhóm. Sau đó, cột của các tầng trên được thi công theo chiều dài thiết kế để duy trì giá trị bù co của nhóm (Hình 4); Nếu giá trị bù co của nhóm tiếp theo lớn hơn giá trị bù co của nhóm đã bù gần nhất phía dưới nó thì chiều dài cột thực tế thi công đúng theo thiết kế và thêm một lượng hiệu chỉnh bù bằng hiệu số của giá trị bù hai nhóm. Sau đó, cột của các tầng trên được thi công theo chiều dài thiết kế để duy trì giá trị bù co của nhóm.

Bước 9: Dừng thi công bù co (thi công bỏ qua bù co ngắn cột)

Tạm dừng thi công bù co (co ngắn đo quan trắc nhỏ hơn nhiều giá trị dự báo và nhỏ hơn vênh co giới hạn thiết kế quy định). Ở bước này, Nhà thầu thi công sẽ tạm dừng công tác bù co tại thời điểm Tư vấn thiết kế báo cáo kết quả vênh co dự báo trong giai đoạn xây dựng của các tầng chưa thi công có giá trị vênh co nhỏ hơn vênh co giới hạn cho phép. Khi này công tác thi công xây dựng vẫn được tiến hành bình thường theo hồ sơ thiết kế mà không phải xử lý bù co cột. Tuy nhiên, công tác phân tích co ngắn trong giai đoạn xây dựng được tiến hành đồng thời thường xuyên liên tục với công tác đo quan trắc hiện trường để báo cáo kết quả co ngắn dự báo cho các tầng chưa thi công. Trường hợp bất thường là kết quả dự báo vênh co tại các tầng cao hơn chưa thi công lớn hơn vênh co giới hạn cho phép thì sử dụng MCO để xác định phương án bù theo.

Bước 10: Thiết lập phương án bù co điều chỉnh theo kết quả đo và phân tích dự báo co ngắn trong giai đoạn xây dựng (Thi công bù theo phương án bù điều chỉnh)

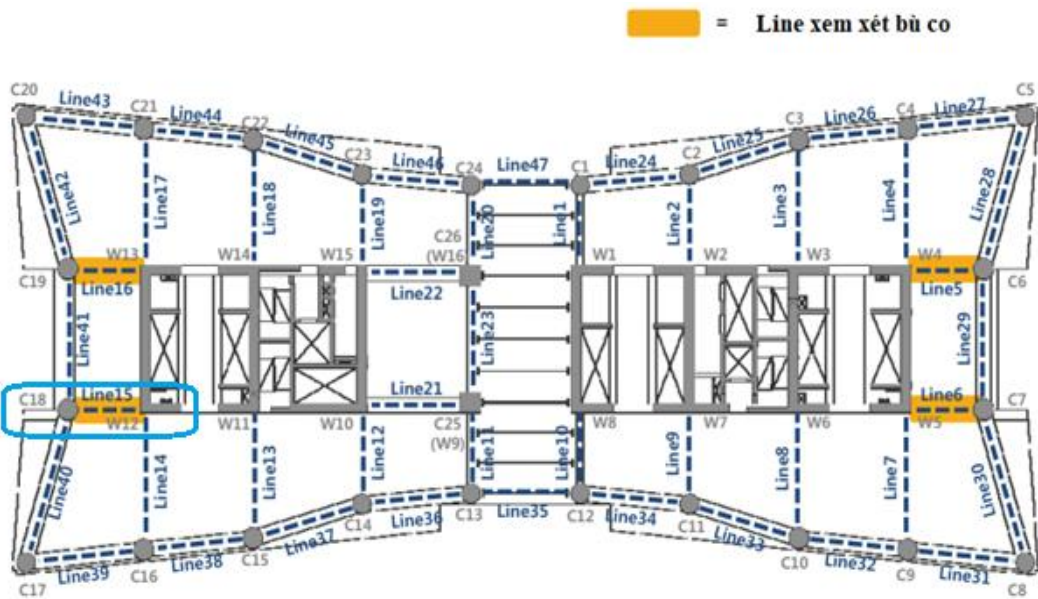
Co ngắn đo và dự báo trong giai đoạn thi công có sự khác biệt đáng kể so với kết quả dự báo giai đoạn thiết kế, đồng thời lớn hơn giới hạn cho phép. Nhà thầu thi công căn cứ kết quả co ngắn dự báo trong giai đoạn thi công do Tư vấn thiết kế cung cấp để thiết lập vênh co của các tầng còn lại chưa thi công nhằm tiến hành chuẩn bị tính toán chọn phương án bù co cho giai đoạn tiếp theo (Phương án điều chỉnh). Sau khi có kết quả co ngắn và vênh co được tính toán lại của Tư vấn thiết kế cung cấp, sử dụng chương trình MCO với thông số đầu vào là số tầng còn lại chưa thi công bù và sai số tích lũy sau bù tại cấp sàn trên cùng đã bù theo phương án chọn trước khi điều chỉnh (sàn liền kề với sàn bắt đầu thực hiện bù co theo phương án điều chỉnh). Như vậy trong trường hợp này điều kiện ràng buộc theo MCO sẽ thay bằng biểu thức $|d_j^i + \delta j(sb)| \leq \theta_i, j = 1, \dots, N^F$, Trong đó $\delta j(sb)$ là giá trị vênh co tích lũy sau bù co tại mức sàn của tầng cuối cùng phương án bù trước khi bắt đầu có sự điều chỉnh phương án bù; N^F là số tầng còn lại chưa thi công bù co.

Kết thúc:

Công tác bù co luôn được thực hiện song hành với công tác đo hiện trường. Được tiến hành ngay khi bắt đầu thi công cột tầng thấp nhất và kết thúc ở tầng cao nhất. Công tác tổ chức thi công bù co ngắn là một sự phối hợp rất chặt chẽ của Nhà thầu thi công và Tư vấn thiết kế, thường xuyên liên tục cập nhật phân tích dữ liệu đo nhằm dự báo chính xác giá trị bù để lựa chọn phương án bù hợp lý nhằm đảm bảo các yêu cầu: Duy trì độ cao thiết kế của sàn theo giới hạn của yêu cầu kỹ thuật; Đảm bảo an toàn của các bộ phận kết cấu nằm ngang; Phòng ngừa các biến dạng bất thường và hư hỏng về các cấu kiện phi kết cấu; Phòng ngừa hư hỏng các thiết bị chính và thang máy.

3. Ứng dụng quy trình vào ví dụ thi công thực tế

Kết quả nghiên cứu được ứng dụng cho một ví dụ thi công cụ thể, công trình Lotte Center Hanoi. Lotte Center Hanoi là dự án của Tập đoàn Lotte (Hàn Quốc) tọa lạc trên khu đất tại quận Ba Đình, Hà Nội với hai mặt đường Liễu Giai và Đào Tấn. Đây là một trong những tòa nhà cao nhất Việt Nam hiện nay, chiều cao 285,25 m, gồm 67 tầng nổi và 5 tầng hầm với công năng là nhà ở cao cấp, văn phòng, khách sạn 5 sao, trung tâm mua sắm, rạp chiếu phim. Hệ kết cấu của tòa nhà là khung-dầm-sàn kết hợp với vách lõi trung tâm BTCT [13]. Thời gian thi công phần khung BTCT là khoảng 650 ngày. Tòa nhà đã khánh thành và đưa vào sử dụng.



Hình 7. Mặt bằng kết cấu vênh co Line15

Các dữ liệu co ngắn dự báo ban đầu lấy từ báo cáo thiết kế của Tập đoàn Lotte, [13]. Số liệu quan trắc và số liệu tính toán phân tích lại giá trị co ngắn sau quan trắc (dự báo co ngắn trong giai đoạn xây dựng) là giả định. Quy trình thi công bù co đề xuất ứng dụng cho Line15 (Cột C18 và vách W12) trình bày như sau:

- Bắt đầu: Tập hợp các tài liệu thi công liên quan đến công tác bù co ngắn.

- Bước 1: Báo cáo phân tích co ngắn trong giai đoạn thiết kế bản vẽ thi công do TVTK cung cấp (Line15). Các giá trị co ngắn này là giá trị co ngắn tại thời điểm ngày mục tiêu (thời điểm 3 năm sau khi kết thúc xây dựng).

- Bước 2: Thiết lập giá trị vênh co cho Line 15 (Bảng 1). Theo yêu cầu thiết kế, giá trị vênh co cho phép giữa cột biên và lõi không được vượt quá giới hạn $L/240$ (khoảng 20 mm), do đó trong ví dụ sẽ khảo sát với giá trị sai số cho phép $\theta_i = 20$ mm.

- Bước 3: Phân tích lựa chọn sơ đồ thuật toán MCO tất định hoặc có tính đến yếu tố ngẫu nhiên. Trong bài báo này áp dụng MCO tất định và có tính đến yếu tố ngẫu nhiên. Chương trình tính toán được sự hỗ trợ của máy tính.

- Bước 4: Sử dụng chương trình tính MCO để thiết lập chọn phương án bù nhóm $i(i = 1, 2, \dots)$. Kết quả được thiết lập theo tài liệu [11] cho Bảng 3.

Bảng 1. Vênh co cột - lõi dự báo tại Line 15 công trình Lotte Center Hanoi [7]

Tầng	Vênh co (mm)	Tầng	Vênh co (mm)	Tầng	Vênh co (mm)	Tầng	Vênh co (mm)	Tầng	Vênh co (mm)
B1	0	10	11,4	24	19,6	38	22,8	52	32,9
B2	0,5	11	12,1	25	20,3	39	23,7	53	33,2
B3	1,0	12	12,7	26	20,9	40	24,6	54	33,4
B4	1,7	13	13,2	27	21,5	41	25,4	55	33,5
B5	2,6	14	13,8	28	22,0	42	26,5	56	33,5
1	3,8	15	14,3	29	22,4	43	27,6	57	33,3
2	5,2	16	14,7	30	22,9	44	28,5	58	33,0
3	6,3	17	15,5	31	22,4	45	29,4	59	32,7
4	6,9	18	16,1	32	22,2	46	30,2	60	32,3
5	7,9	19	16,8	33	21,0	47	30,9	61	31,7
6	8,8	20	17,4	34	20,3	48	31,4	62	30,8
7	9,8	21	17,9	35	19,7	49	31,9	63	29,9
8	10,1	22	18,4	36	20,9	50	32,3	64	28,9
9	10,7	23	18,9	37	21,8	51	32,5	65	27,3
								Mái	26,5
								PH	25,7

Bảng 2. Phương án bù co với các hệ số biến thiên khác nhau

Bù co tất định			Bù co theo độ tin cậy								
			CV = 0,5%			CV = 1%			CV = 2%		
i	N_i	δ_i (mm)	i	N_i	δ_i (mm)	i	N_i	δ_i (mm)	i	N_i	δ_i (mm)
1	11	4	1	11	4	1	11	4	1	11	4
2	16	14	2	16	14	2	16	14	2	12	13
3	20	22	3	20	22	3	20	22	3	18	20
4	25	31	4	25	31	4	19	32	4	9	26
						5	5	28	5	17	32
						6	1	24	6	3	31
									7	2	24

Bảng 3. Co giãn dự báo thiết kế gần bằng kết quả đo và dự báo trong giai đoạn xây dựng

Tầng	Vành co phân tích giai đoạn thiết kế	Vành co phân tích lại theo dữ liệu đo thực tế (giai đoạn thi công)	Tỷ lệ	Đánh giá	Tầng	Vành co phân tích giai đoạn thiết kế	Vành co phân tích lại theo dữ liệu đo thực tế (giai đoạn thi công)	Tỷ lệ	Đánh giá
B1	0	0,0	0	OK	32	22,2	20,4	0,92	OK
B2	0,5	0,5	1,05	OK	33	21	21,8	1,04	OK
B3	1	1,1	1,06	OK	34	20,3	21,9	1,08	OK
B4	1,7	1,8	1,06	OK	35	19,7	21,3	1,08	OK
B5	2,6	2,7	1,05	OK	36	20,9	22,8	1,09	OK
1	3,8	3,6	0,95	OK	37	21,8	23,5	1,08	OK
2	5,2	5,4	1,04	OK	38	22,8	25,1	1,1	OK
3	6,3	6,6	1,05	OK	39	23,7	25,4	1,07	OK
4	6,9	7,5	1,08	OK	40	24,6	26,8	1,09	OK
5	7,9	7,7	0,98	OK	41	25,4	27,2	1,07	OK
6	8,8	8,4	0,95	OK	42	26,5	25,4	0,96	OK
7	9,8	10,3	1,05	OK	43	27,6	26,8	0,97	OK
8	10,1	10,7	1,06	OK	44	28,5	26,8	0,94	OK
9	10,7	11,3	1,06	OK	45	29,4	32,0	1,09	OK
10	11,4	12,0	1,05	OK	46	30,2	32,6	1,08	OK
11	12,1	12,6	1,04	OK	47	30,9	34,0	1,1	OK
12	12,7	13,2	1,04	OK	48	31,4	33,6	1,07	OK
13	13,2	12,1	0,92	OK	49	31,9	34,8	1,09	OK
14	13,8	13,1	0,95	OK	50	32,3	34,6	1,07	OK
15	14,3	14,9	1,04	OK	51	32,5	31,2	0,96	OK
16	14,7	15,6	1,06	OK	52	32,9	31,9	0,97	OK
17	15,5	16,3	1,05	OK	53	33,2	31,2	0,94	OK
18	16,1	17,1	1,06	OK	54	33,4	36,4	1,09	OK
19	16,8	17,8	1,06	OK	55	33,5	36,2	1,08	OK
20	17,4	18,3	1,05	OK	56	33,5	36,9	1,1	OK
21	17,9	18,6	1,04	OK	57	33,3	35,6	1,07	OK
22	18,4	19,1	1,04	OK	58	33	31,7	0,96	OK
23	18,9	19,8	1,05	OK	59	32,7	31,7	0,97	OK
24	19,6	21,2	1,08	OK	60	32,3	30,4	0,94	OK
25	20,3	21,1	1,04	OK	61	31,7	34,2	1,08	OK
26	20,9	22,2	1,06	OK	62	30,8	33,3	1,08	OK
27	21,5	22,8	1,06	OK	63	29,9	32,6	1,09	OK
28	22	23,1	1,05	OK	64	28,9	31,2	1,08	OK
29	22,4	21,5	0,96	OK	65	27,3	30,0	1,1	OK
30	22,9	22,2	0,97	OK	Mái	26,5	25,2	0,95	OK
31	22,4	21,1	0,94	OK	PH	25,7	28,0	1,09	OK

Bảng 4. Co giãn dự báo thiết kế sai khác nhiều so với kết quả đo và dự báo trong giai đoạn xây dựng (bắt đầu từ tầng 16)

Tầng	Vành co phân tích giai đoạn thiết kế	Vành co phân tích lại theo dữ liệu đo thực tế (giai đoạn thi công)	Tỷ lệ (sai lệch)	Đánh giá	Tầng	Vành co phân tích giai đoạn thiết kế	Vành co phân tích lại theo dữ liệu đo thực tế (giai đoạn thi công)	Tỷ lệ (sai lệch)	Đánh giá
B1	0	0,0	0	OK	32	22,2	24,9	1,12	N.OK
B2	0,5	0,5	1,05	OK	33	21	23,5	1,12	N.OK
B3	1	1,1	1,06	OK	34	20,3	23,3	1,15	N.OK
B4	1,7	1,8	1,06	OK	35	19,7	23,0	1,17	N.OK
B5	2,6	2,7	1,05	OK	36	20,9	24,5	1,17	N.OK
1	3,8	3,6	0,95	OK	37	21,8	25,9	1,19	N.OK
2	5,2	5,4	1,04	OK	38	22,8	27,4	1,2	N.OK
3	6,3	6,6	1,05	OK	39	23,7	26,3	1,11	N.OK
4	6,9	7,5	1,08	OK	40	24,6	27,6	1,12	N.OK
5	7,9	7,7	0,98	OK	41	25,4	30,0	1,18	N.OK
6	8,8	8,4	0,95	OK	42	26,5	31,8	1,2	N.OK
7	9,8	10,3	1,05	OK	43	27,6	34,2	1,24	N.OK
8	10,1	10,7	1,06	OK	44	28,5	33,6	1,18	N.OK
9	10,7	11,3	1,06	OK	45	29,4	36,2	1,23	N.OK
10	11,4	12,0	1,05	OK	46	30,2	36,5	1,21	N.OK
11	12,1	12,6	1,04	OK	47	30,9	38,9	1,26	N.OK
12	12,7	13,2	1,04	OK	48	31,4	39,6	1,26	N.OK
13	13,2	12,1	0,92	OK	49	31,9	39,6	1,24	N.OK
14	13,8	13,1	0,95	OK	50	32,3	40,4	1,25	N.OK
15	14,3	14,9	1,04	OK	51	32,5	40,3	1,24	N.OK
16	14,7	16,5	1,12	N,OK	52	32,9	41,5	1,26	N.OK
17	15,5	17,4	1,12	N,OK	53	33,2	43,2	1,3	N.OK
18	16,1	18,5	1,15	N,OK	54	33,4	42,1	1,26	N.OK
19	16,8	19,7	1,17	N,OK	55	33,5	41,5	1,24	N.OK
20	17,4	20,4	1,17	N,OK	56	33,5	41,2	1,23	N.OK
21	17,9	21,3	1,19	N,OK	57	33,3	41,0	1,23	N.OK
22	18,4	22,1	1,2	N,OK	58	33	40,3	1,22	N.OK
23	18,9	21,0	1,11	N,OK	59	32,7	39,6	1,21	N.OK
24	19,6	22,0	1,12	N,OK	60	32,3	42,6	1,32	N.OK
25	20,3	22,7	1,12	N,OK	61	31,7	38,4	1,21	N.OK
26	20,9	24,0	1,15	N,OK	62	30,8	35,4	1,15	N.OK
27	21,5	25,2	1,17	N,OK	63	29,9	34,7	1,16	N.OK
28	22	25,7	1,17	N,OK	64	28,9	32,9	1,14	N.OK
29	22,4	26,7	1,19	N,OK	65	27,3	30,8	1,13	N.OK
30	22,9	27,5	1,2	N,OK	Mái	26,5	29,9	1,13	N.OK
31	22,4	24,9	1,11	N,OK	PH	25,7	28,8	1,12	N.OK

- Bước 5: Thi công bù co các tầng của nhóm tầng thứ $i(i = 1, \dots)$. Công tác chuẩn bị: căn cứ vào công nghệ thi công phần ngầm của công trình, dầm sàn 5 tầng hầm của công trình thi công bằng phương pháp topdown sử dụng công nghệ hệ dầm đỡ di chuyển xuống dưới (Bracket Supported Reinforcement Concret Downward – BRD) của Hàn Quốc [15]. Do đó giá trị bù co cho cột C18 của 5 tầng hầm được thực hiện bằng cách điều chỉnh vị trí của hệ dầm đỡ trên cột chống tạm đảm bảo giá trị bù co tương ứng cho nhóm tầng 1 là 0,5 cm.

Ván khuôn cột được chế tạo với chiều cao thi công cao hơn chiều cao thiết kế là +0,5 cm, bằng giá trị bù co cho cột C18 nhóm tầng 1. Sau đó chiều cao thi công của ván khuôn cột lần lượt được hiệu chỉnh khi đổ bê tông với các giá trị lần lượt là 1,5 cm; 2,3 cm và 3,1 cm tương ứng với nhóm tầng 2, 3 và 4. Chi tiết cấu tạo ván khuôn và phần chiều cao hiệu chỉnh cũng cần thể hiện chi tiết và có chú dẫn thi công cụ thể.

Đầu tiên thi công bù co cho cột C18, Line 15 của nhóm tầng thứ nhất, bắt đầu từ tầng hầm B1, tiếp theo đến các tầng hầm B2 đến B5. Sau đó bù co cho các tầng tiếp theo từ tầng 1 đến tầng 8. Giá trị bù co lấy tròn là 0,5 cm. Kỹ thuật bù co thực hiện như chỉ dẫn ở Bước 4. Đối với các nhóm tầng tiếp theo từ nhóm 2 đến nhóm 4, giá trị bù co được thi công bằng cách đổ bù bê tông đỉnh cột sau khi hiệu chỉnh chiều cao của ván khuôn cột, chiều cao hiệu chỉnh bằng giá trị bù co.

Tiến độ thi công tầng hầm B1 là 42 ngày, tiến độ thi công 4 tầng hầm còn lại B2 – B5 là 32 ngày/tầng. Thời điểm đổ bê tông cột tầng hầm B1 sau khi thi công xong tầng hầm B2, như vậy sau 74 ngày kể từ khi bắt đầu công tác lắp đặt bản mã đỡ hệ dầm trượt trên cột chống tạm. Tương tự, cột tầng B2 thi công sau 106 ngày, cột tầng B3 – 138 ngày, cột tầng B4 – 170 ngày. Cột tầng B5 thi công sau khi công tác đổ bê tông đài móng bê siêu lớn được hoàn thành 14 ngày.

- Bước 6: Quan trắc đo co ngấn cho các tầng đã thi công nhóm thứ $i(i = 1, \dots)$. Sử dụng loại cảm biến Geokon 4200 có các thông số: Biến dạng lớn nhất 3000 micromm/mm; Độ nhạy: 1,0 micromilimet/mm; Độ chính xác: $\pm 0,1\%$ F.S; Nhiệt độ: $-20\text{ }^{\circ}\text{C} + 80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vị trí lắp cảm biến đo: Các tầng chọn lắp cảm biến là tầng hầm B5 do nó là tầng thấp nhất; Tầng 7 do nó là tầng trên cùng của khối đế; Tầng 15 do nó là tầng điển hình và tầng 28 do nó là tầng sát dưới của tầng Outrigger. Các cột trong mặt bằng chọn lắp cảm biến:

- Bước 7: So sánh với giá trị dự báo trong giai đoạn thiết kế, kết luận về giá trị co ngấn cho các tầng chưa thi công. Giả sử co ngấn đo được và phân tích trong bước này so sánh với kết quả thiết kế dự báo tại bước 2 có thể sẽ xảy ra ba trường hợp. Các trường hợp sẽ được áp dụng xử lý tương ứng tại

Bảng 5. Phương pháp bù co ban đầu và bù co MCO điều chỉnh từ tầng 16 cho trường hợp kể đến yếu tố ngẫu nhiên (Giả sử hệ số biến thiên giá trị co ngấn $CV = 1\%$)

i	Phương án MCO ban đầu			Phương án MCO điều chỉnh				Chú thích
	Tầng	N_i	δ_i (mm)	i	Tầng	N_i	δ_i (mm)	
1	B5 - 6	11	4	1	B5 - 6	13	4	Đã thi công bù theo P/A ban đầu
2	7 - 22	16	14	2	7 - 15	07	14	Thi công bù theo P/A ban đầu đến tầng 15
3	23 - 42	20	22	3	16 - 26	11	18	Thi công tiếp theo P/a bù co điều chỉnh
4	43 - 61	19	32	4	27 - 39	13	24	Thi công tiếp theo P/a bù co điều chỉnh
5	62 - 66	5	28	5	40 - 55	16	31	Thi công tiếp theo P/a bù co điều chỉnh
6	67 (PH)	1	24	6	56 - 65	10	33	Thi công tiếp theo P/a bù co điều chỉnh
				7	66 - PH	02	25	Thi công tiếp theo P/a bù co điều chỉnh

các Bước 8; 9; 10.

- Bước 8: Tiếp tục thi công bù theo phương án đã chọn tại Bước 5.

Theo báo cáo của TVTK tại bước 7. Vênh co đo được và dự báo trong giai đoạn xây dựng gần giống dự báo thiết kế (Bảng 3) thì ta tiếp tục bù co theo phương án đã chọn tại Bước 5 cho đến khi nào có báo cáo khác của Tư vấn thiết kế.

- Bước 9: Tạm thời dừng công tác bù co khi kết quả đo quan trắc và phân tích dự báo trong giai đoạn xây dựng nhỏ hơn vênh co giới hạn cho phép do thiết kế quy định.

Trong bước này, sau khi đo quan trắc hiện trường và so sánh tại Bước 7. Tư vấn thiết kế báo cáo kết quả phân tích lại co ngấn trong giai đoạn thi công theo dữ liệu đo quan trắc cho kết quả vênh co rất bé (bé hơn vênh co giới hạn cho phép) thì tạm dừng không thực hiện bù co cột cho đến khi có báo cáo co ngấn khác của tư vấn thiết kế.

- Bước 10: Thiết lập phương án bù co điều chỉnh cho phương án đã chọn tại Bước 5.

Giả sử trong bước 7 TVTK báo cáo đến tầng 16 giá trị vênh co sẽ sai khác nhiều so với thiết kế dự báo cho ở Bảng 4. Khi đó, áp dụng chương trình thuật toán MCO đã đề xuất với các thông số đầu vào là: Tổng số tầng là số tầng còn lại chưa bù co 47 tầng; điều kiện ràng buộc về sai số vênh co sau bù tích lũy mỗi mức sàn phải được cộng thêm giá trị vênh co tích lũy sau bù tại mức sàn tầng là 18 mm [7]. Kết quả tính được ta lựa chọn phương án bù co điều chỉnh thể hiện ở Bảng 5.

4. Kết luận

Bài báo này đã trình bày một quy trình thi công bù co ngấn cột trong xây dựng nhà siêu cao tầng theo phương pháp bù co di chuyển tối ưu và áp dụng một công trình thực tế tại Việt Nam. Quy trình áp dụng một phương pháp bù co hiệu quả đã được đề xuất nhằm kiểm định hiệu quả của các phương pháp bù co khác. Thông qua kết quả của việc xử lý các phương án bù điều chỉnh thực tế cho thấy quy trình đề xuất hiệu quả và linh hoạt khi có sự thay đổi giá trị vênh co thực tế và thiết kế dự báo. Ngoài ra, chương trình tính toán có thể áp dụng dễ dàng đối với máy tính thông thường. Cụ thể, quy trình bù co theo phương pháp MOC đã được áp dụng xác định phương án bù co ngấn cột cho một tòa nhà 72 tầng ở Việt Nam trong giai đoạn thiết kế đến giai đoạn xây dựng với các trường hợp giá trị co ngấn đo thực tế có sự biến động so với giá trị co ngấn dự báo trong giai đoạn thiết kế. Áp dụng khảo sát cho ba trường hợp xảy ra trong thực tế: Vênh co thực tế nhỏ hơn nhiều vênh co thiết kế; Vênh co thực tế gần bằng vênh co thiết kế dự báo; Vênh co thực tế lớn hơn nhiều vênh co thiết kế dự báo.

Tài liệu tham khảo

- [1] Fintel, M., Ghosh, S. K., Iyengar, H. (1987). Column shortening in tall buildings-Prediction and compensation. *Publ. EB108 D, Portland Cement Association, Skokie*, 3:1-34.
- [2] Kim, H.-S. (2017). *Effect of outriggers on differential column shortening in tall buildings. International Journal of High-Rise Buildings*, 6(1):91-99.
- [3] Kim, H.-S. (2015). *Optimum distribution of additional reinforcement to reduce differential column shortening. The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 24(10):724-738.
- [4] Song, H.-C., Yoon, K.-S. (2006). *Probabilistic Prediction and Field Measurement of Column Shortening for Tall Building with Bearing Wall System. Journal of the Korea Concrete Institute*, 18(1):101-108.
- [5] Nguyễn, Đ. X. *Hiện tượng co ngấn cột và giải pháp xử lý trong thi công xây dựng nhà siêu cao tầng ở Việt Nam.*
- [6] Xuân, N. Đ., Anh, P. H., Khoa, H. N. (2020). *Bù vênh co ngấn trong thi công nhà cao tầng BTCT bằng phương pháp bù co di chuyển tối ưu. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD*, 14 (5V):66-76.

- [7] ACI 318-19. *Building Code Requirements for Structural Concrete*.
- [8] BS 8110:1997. *Structural use of concrete*. Sheffield.
- [9] Mosley, W. H., Hulse, R., Bungey, J. H. (2012). *Reinforced concrete design: to Eurocode 2*. Macmillan International Higher Education.
- [10] TCVN 5574:2018. *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*. Tiêu chuẩn Quốc gia.
- [11] Pham, H.-A., Nguyen, D.-X., Truong, V.-H. (2021). [An efficient differential-evolution-based moving compensation optimization approach for controlling differential column shortening in tall buildings](#). *Expert Systems with Applications*, 169:114531.
- [12] Choi, S., Kim, Y., Kim, J., Park, H. (2013). [Field Monitoring of Column Shortenings in a High-Rise Building during Construction](#). *Sensors*, 13(11):14321–14338.
- [13] IT M (2011). *Lotte Center Hanoi Project: Column Shortening*. Report for Preliminary Analysis, Project Plan.
- [14] Gao, F., Zhou, H., Liang, H., Weng, S., Zhu, H. (2020). [Structural deformation monitoring and numerical simulation of a supertall building during construction stage](#). *Engineering Structures*, 209:110033.
- [15] Khoa, H. N. (2015). Organization of the construction of structural framing system of super high rise buildings in Vietnam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 9(1):18–25.