

Một trường hợp ứng xử khung kết cấu – móng bè – nền làm việc đồng thời

Bùi Trường Sơn¹, Lê Tiến Nghĩa^{2*}

¹ Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG TP. HCM

² Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

TỪ KHÓA

Tương tác

Liên kết kết cấu – móng – nền

Móng bè

Phân bố độ lún

TÓM TẮT

Nội dung bài báo sử dụng phần mềm SAP2000 để mô phỏng sự làm việc đồng thời của hệ khung kết cấu – móng bè – nền bằng mô hình 3D. Kết quả phân tích cho thấy nội lực trong cột – vách khác biệt đáng kể so với trường hợp tính toán tách rời chủ yếu trong phạm vi 1/3 chiều cao công trình. Trong mô hình làm việc đồng thời, lực dọc trong các cột góc lớn hơn từ 1,2 – 27 % và lên đến 60 % đối với lực kéo trong vách so với mô hình tách rời. Việc phân tích sự làm việc đồng thời cho phép xét độ cứng của móng và khung kết cấu công trình cho thấy sự phân bố độ lún đồng đều hơn tại các vị trí khác nhau và phù hợp với kết quả quan trắc thực tế.

KEYWORDS

Interaction

Coupling of structure – foundation – soil

Raft foundation

Settlement distribution

ABSTRACT

The article uses SAP2000 software to simulate the simultaneous behavior of the structural frame, foundation and soil in a 3D model. The analysis results show significant differences in internal forces in columns and walls compared to the case of separate calculations mainly within 1/3 of the structure's height. In the simultaneous working model, the vertical forces in the corner columns are larger by 1.2-27% and up to 60% for the tensile force in the walls compared to the separate model. The analysis of simultaneous behavior allows for the consideration of the stiffness of the foundation and structural frame, showing a more even distribution of settlement at different locations and consistent with actual monitoring results.

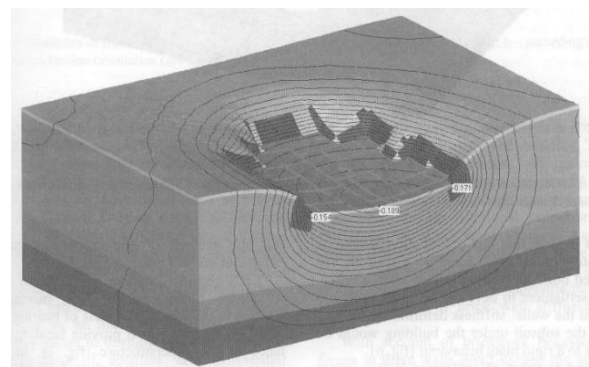
1. Khái quát về phương pháp phân tích tương tác khung – móng và nền đồng thời

Trong tính toán thiết kế công trình nhà, kết cấu và nền móng thường được tính toán riêng rẽ theo các chỉ dẫn của giáo trình, tiêu chuẩn hay sử dụng các phần mềm trên cơ sở các phương pháp tính khác nhau. Khi đó, móng được xem như tuyệt đối cứng và ảnh hưởng của chuyển vị được bỏ qua để tính toán nội lực và kết cấu phần bên trên. Nội lực thu nhận được từ các chân cột sẽ được sử dụng để thiết kế nền móng ở bước tiếp theo. Tuy nhiên, độ cứng của toàn bộ móng bên dưới thường nhỏ hơn đáng kể so với độ cứng của toàn bộ kết cấu bên trên cũng như móng bị lún do nén ép vào đất nền nên phần lớn nội lực sinh ra do lún lệch của móng sẽ làm thay đổi nội lực của kết cấu bên trên và gây ra sự phát triển ứng suất tại các vùng góc của công trình [1].

Khi tính toán tách biệt, các tải trọng từ kết cấu bên trên sẽ gây lún cho nền đất và uốn cho bản móng nhưng trên thực tế các tường chịu lực của công trình sẽ ngăn cản lún lệch phát triển. Nếu kể đến độ cứng của tường và xem móng – tường chịu lực là một kết cấu nguyên khối, đặc tính biến dạng của đất nền dưới công trình sẽ giống như ứng xử dưới một tấm cứng. Khi đó, giá trị lún tuyệt đối ở phần trung tâm thay đổi không đáng kể nên việc phân tích đồng thời các cấu kiện sẽ cho phép đánh giá ứng xử công trình phù hợp hơn.

Để tính toán phân tích sự làm việc đồng thời của các thành phần cơ bản của công trình, những phương pháp đơn giản hóa được phát

triển theo hai hướng: i) dựa vào giả thuyết đàn hồi và (ii) dựa vào phân lực đất nền. Hướng đầu tiên có triển vọng vì có thể mô tả ứng xử của khối đất theo giả thuyết đàn hồi và có thể định nghĩa ứng suất tại bất kỳ điểm nào trong khối đất cũng như cho phép kiểm tra sự tương quan của ứng suất với giới hạn cường độ của vật liệu; trong hướng thứ hai, có thể sử dụng một hay nhiều hơn phân lực đất nền để phản ánh ứng xử của nền đất thực tế đến một độ chính xác nhất định. Tuy nhiên, do tính ngẫu nhiên của giả thuyết ban đầu (giá trị phân lực đất nền tỷ lệ với giá trị của chuyển vị đứng) mà đôi khi kết quả nhận được sẽ sai lệch về giá trị.

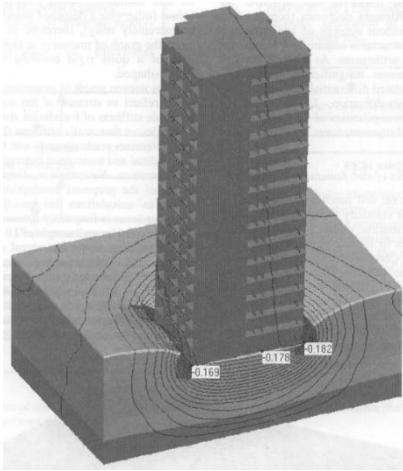


Hình 1. Sơ đồ biến dạng và các đường đồng mức lún (m) của bản móng và đất xung quanh khi thiết kế tách riêng nền móng và kết cấu bên trên [1].

*Liên hệ tác giả: letiennghia@mtu.edu.vn

Nhận ngày 12/04/2023, sửa xong ngày 17/05/2023, chấp nhận đăng 19/07/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2023.567>



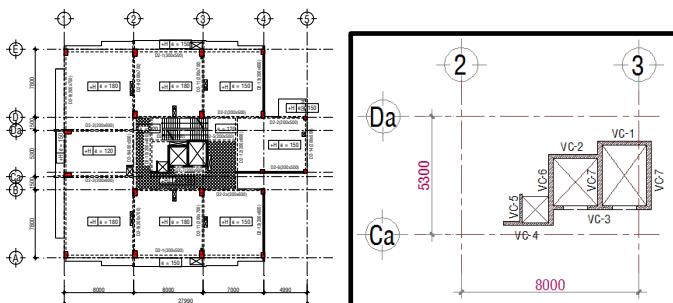
Hình 2. Sơ đồ biến dạng và các đường đồng mức (m) của bản móng và đất xung quanh khi thiết kế cho kết cấu bên trên – móng bè – nền đất làm việc đồng thời [1].

Cùng với sự phát triển của các công cụ tính toán, các phương pháp mô phỏng sự làm việc đồng thời của khung kết cấu – móng – nền đất đã được nghiên cứu và phát triển. Đa số các phương pháp này căn cứ trên cơ sở của phương pháp phần tử hữu hạn.

2. Đặc điểm ứng xử của khung kết cấu – móng bè – nền làm việc đồng thời

Để đánh giá tính phù hợp của phương pháp phân tích sự làm việc đồng thời của các thành phần cấu kiện công trình, nội lực của kết cấu và độ lún của móng được tính toán, phân tích mô phỏng riêng rẽ và đồng thời được tiến hành tính toán và so sánh. Độ lún tại các vị trí khác nhau ở các chân cột từ kết quả mô phỏng được so sánh với kết quả quan trắc thực tế.

Với mục đích phân tích ứng xử của khung kết cấu – móng bè – nền đất trong quá trình làm việc đồng thời, kết cấu được chọn để phân tích là khối công trình có vách cứng và có phần chân đế gồm 1 tầng hầm và 1 tầng trệt, phía trên bao gồm 15 tầng lầu và 1 tầng mái. Địa điểm xây dựng công trình ở quận 10, TP. Hồ Chí Minh. Mặt bằng dầm sàn điển hình của công trình thể hiện như ở Hình 3.



Hình 3. Mặt bằng dầm sàn tầng và chi tiết vách điển hình.

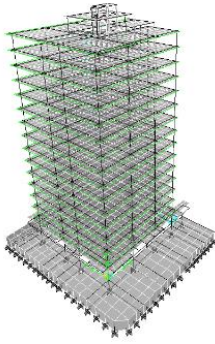
Căn cứ hồ sơ khảo sát địa chất công trình ở khu vực xây dựng [7], ngoài lớp san lấp có bề dày trung bình 1,1 m, cấu tạo địa chất khu vực này có thể được tóm tắt như sau: Lớp 1 - Sét lẫn sạn sỏi laterite, màu nâu đỏ, xám vàng, xám xanh, trạng thái dẻo cứng, bề dày trung bình 9,7 m, trị số N: 7-16, độ ẩm $W = 27,3n\%$; khối lượng riêng tự nhiên $\rho = 2,000 \text{ g/cm}^3$; khối lượng riêng khô $\rho_d = 1,57 \text{ g/cm}^3$; hệ số rỗng $e_o = 0,748$; độ bão hòa $S_r = 98,8 \%$; lực dính $c = 0,297 \text{ kG/cm}^2$; góc ma sát trong $\varphi = 15^\circ 3'$; Lớp 2 - Cát hạt vừa, hạt mịn đôi chỗ hạt to, màu xám trắng, xám vàng, nâu hồng, kết cấu chặt vừa, bề dày lớp chưa xác định vì kéo dài đến đáy hố khoan: $W = 22,8 \%$; $\rho = 1,99 \text{ g/cm}^3$; $\rho_d = 1,621 \text{ g/cm}^3$; $S_r = 93,0 \%$; $e = 0,654$; góc nghỉ: khi khô $\alpha_d = 32^\circ$, khi bão hòa $\alpha_w = 23^\circ$; góc ma sát trong $\varphi = 32^\circ$; lực dính $c = 0,04 \text{ kG/cm}^2$. Mực nước ngầm ở thời điểm khảo sát biến đổi ở độ sâu từ 6,3 – 6,6 m so với mặt đất tự nhiên. Module tổng biến dạng của nền sét (Lớp 1) được xác định căn cứ trên kết quả báo cáo từ thí nghiệm nén tĩnh đất nền bằng tấm ép cứng có đường kính $d = 1,122 \text{ m}$ và có giá trị $E_1 = 21.000 \text{ kN/m}^2$. Module tổng biến dạng trung bình của lớp cát bên dưới (Lớp 2) được xác định từ kết quả nén lún mẫu đất trong phòng, căn cứ độ sâu trung bình và ứng suất gây lún: $E_{o2} = 9185 \text{ kN/m}^2$.

Giải pháp móng được chọn lựa cho công trình là móng bè trên nền thiên nhiên được làm bằng Bê tông cốt thép (BTCT) có cấp độ bền B30 ($R_b = 17,0 \text{ MPa}$). Chiều sâu đặt móng $-3,2 \text{ m}$ kể từ mặt đất tự nhiên. Đơn móng có độ dày 500 mm. Phần kết cấu bên trên là hệ khung – lõi cứng kết hợp bằng BTCT cấp độ bền B30 với phần sàn là tấm cứng chịu tải trọng ngang. Kích thước móng: bề rộng $B = 38,5 \text{ m}$; chiều dài: $L = 66,4 \text{ m}$; diện tích: $2556,4 \text{ m}^2$. Chiều sâu mặt đơn móng: $2,7 \text{ m}$; chiều dày móng: $0,5 \text{ m}$; chiều sâu mặt đáy móng: $3,2 \text{ m}$.

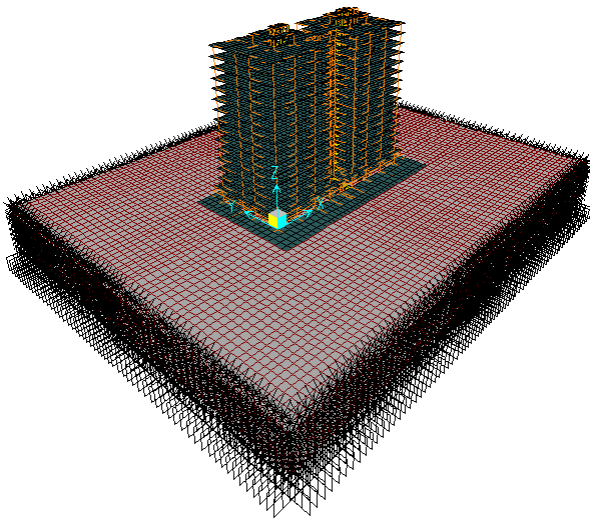
Để so sánh với mô hình làm việc đồng thời, mô hình thiết kế riêng rẽ truyền thống được tiến hành bằng cách sử dụng phần mềm Etab, SAP 2000 để thiết kế cho phần kết cấu bên trên. Tổng lực tiêu chuẩn do tải trọng ngoài gây ra, xác định từ mô hình tính toán tách rời kết cấu bên trên $N^{tc} = 338.512 \text{ kN}$. Tải trọng tiêu chuẩn do trọng lượng bản thân móng $N^{tc}_{TLBT} = 31.955 \text{ kN}$. Tổng tải trọng tiêu chuẩn $\Sigma N^{tc} = 338.512 + 31.955 = 370.467 \text{ kN}$. Áp lực tiêu chuẩn $p^{tc} = 370.467/2556,4 = 145 \text{ kN/m}^2$. Ứng suất gây lún $p^{gl} = 145 - 64 = 81 \text{ kN/m}^2$. Kết quả kiểm tra cho thấy áp lực tính toán trên nền $R = 715 \text{ kN/m}^2 > p^{tc} = 145 \text{ kN/m}^2$ nên nền ứng xử trong phạm vi đàn hồi.

Với móng có bề rộng $B > 10 \text{ m}$, module biến dạng của đất nền $E \geq 10000 \text{ kN/m}^2$ và nền gồm cả đất cát và đất sét, chiều dày lớp chịu nén ước lượng có giá trị $h_o = 10,4 \text{ m}$ và ở độ sâu $13,6 \text{ m}$ tính từ mặt đất tự nhiên. Độ lún tại tâm móng ước lượng có giá trị $S = 44,2 \text{ mm}$ (giữa cạnh dài: $S_L = 21,9 \text{ mm}$; giữa cạnh ngắn: $S_B = 22,0 \text{ mm}$ và ở góc: $S_C = 10,8 \text{ mm}$).

Sự làm việc đồng thời của khung kết cấu – móng – nền đất được mô phỏng bằng phần mềm SAP2000 để xác định ứng suất và biến dạng trong khung, móng và đất nền. Mô hình không gian gồm kết cấu bên trên (dầm, cột – phần tử thanh, sàn, vách – phần tử tấm) và móng – nền (phần tử khối) với mô hình vật liệu đàn hồi tuyến tính. Mô hình mô phỏng phân tích kết cấu và sự làm việc đồng thời của các cấu kiện công trình thể hiện như ở Hình 4 và 5.



Hình 4. Mô hình tính toán kết cấu khung bên trên.



Hình 5. Mô hình khung kết cấu – móng và nền công trình làm việc đồng thời.

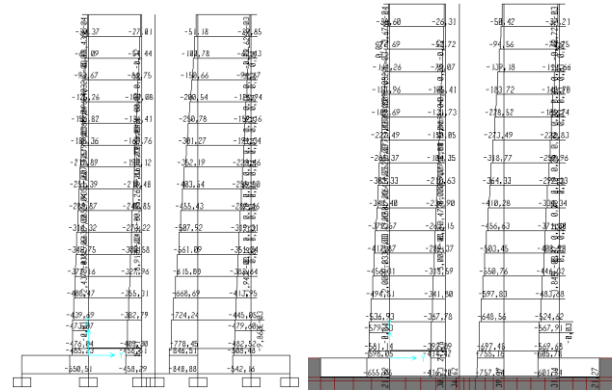
2.1 Đặc điểm nội lực trong khung kết cấu từ kết quả mô phỏng sự làm việc đồng thời của khung kết cấu – nền móng và tính toán riêng rẽ khung kết cấu bên trên

Việc phân tích đánh giá ứng xử và so sánh nội lực của khung kết cấu cũng như khả năng ổn định nền móng công trình được thực hiện bằng 2 mô hình: mô hình tính toán tách riêng khung kết cấu bên trên (mô hình tách rời) và mô hình tính toán khung – móng – nền làm việc đồng thời (mô hình kết hợp).

Kết quả cho thấy lực dọc tại đa số các cột góc theo mô hình tách rời đa số (5 trong 6 cột) nhỏ hơn lực dọc theo mô hình tính toán kết hợp khung – móng – nền làm việc đồng thời. Chênh lệch nội lực dao động từ 1,2 đến 27,0 % tùy theo vị trí cột góc và chiều cao tầng. Ngoài sự chênh lệch về nội lực lớn nhất xuất hiện đột biến tại tầng cao nhất của công trình, hầu như sự khác biệt nội lực chủ yếu xảy ra ở các tầng dưới trong phạm vi 1/3 chiều cao công trình (Hình 6).

Trong khi đó, lực dọc tại đa số các cột biên theo mô hình tách rời (5 trong 6 cột) lớn hơn lực dọc theo mô hình tính toán kết hợp khung – móng nền làm việc đồng thời. Chênh lệch nội lực dao động từ 0,8 đến 24 % tùy theo vị trí cột biên và cao độ tầng. Sự khác biệt nội lực thường

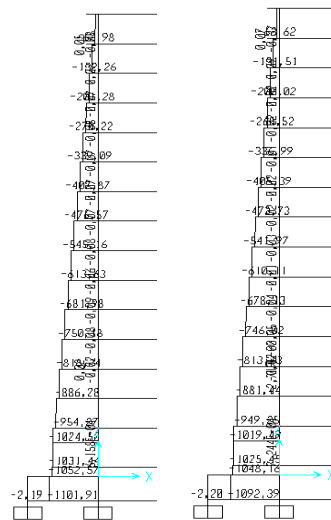
xảy ra ở các tầng dưới trong khoảng 1/3 chiều cao công trình và càng lên cao thì chênh lệch nội lực càng giảm. Đối với hầu hết các cột giữa, kết quả cho thấy giá trị lực dọc trong mô hình tách rời lớn hơn so với mô hình tính toán kết hợp khung – móng nền làm việc đồng thời. Chênh lệch nội lực thay đổi từ 14 đến 17% và chênh lệch nội lực lớn nhất xảy ra ở các tầng dưới trong phạm vi 1/3 chiều cao công trình.



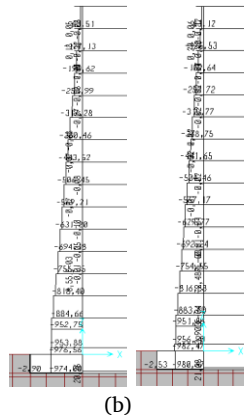
(a)

(b)

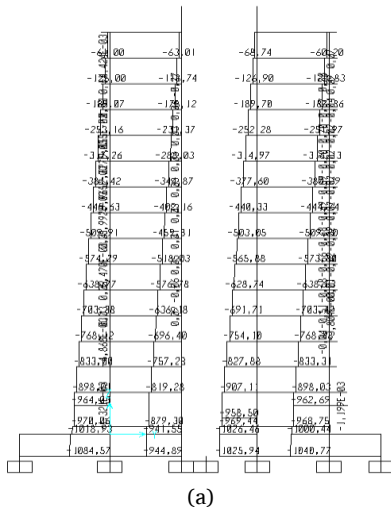
Hình 6. Biểu đồ lực dọc cột góc C3 (a) - mô hình tách rời, (b) – mô hình kết hợp.



(a)



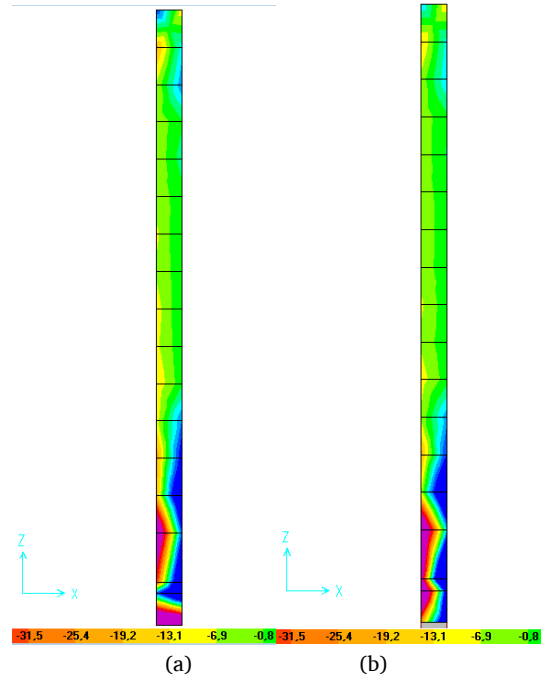
Hình 7. Biểu đồ lực dọc cột biên C5 (a) - mô hình tách rời, (b) - mô hình kết hợp.



Hình 8. Biểu đồ lực dọc cột biên C2 và cột giữa C6 (khung trục 3) (a) - mô hình tách rời, (b) - mô hình kết hợp.

Tương tự lực dọc trong các cột, lực kéo trong các vách lõi thang giữa mô hình kết hợp và mô hình tách rời chủ yếu khác biệt ở những

tầng dưới, trong phạm vi 1/3 chiều cao công trình. Càng lên cao sự chênh lệch về lực kéo càng giảm. Kết quả khảo sát 2 vách cứng của công trình cho thấy lực kéo trong mô hình kết hợp lớn hơn so với mô hình tách rời, giá trị chênh lệch lớn nhất xấp xỉ 60 %.



Hình 9. Biểu đồ ứng suất chính lớn nhất trong vách VC-2 (a) - mô hình tách rời, (b) - mô hình kết hợp.

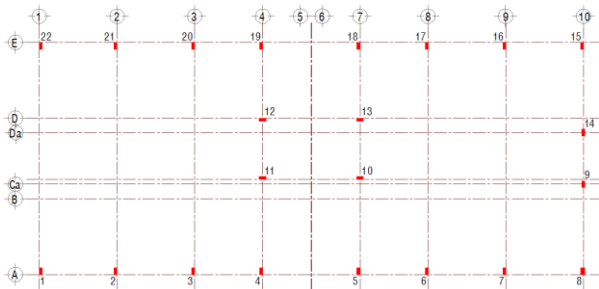
2.2. Đặc điểm phân bố độ lún

Từ hồ sơ thiết kế công trình, độ lún tại tâm móng dự tính có giá trị 44,2 mm. Trong quá trình xây dựng công trình, việc quan trắc độ lún tại các chân cột được thực hiện để kiểm tra mức độ ổn định tổng thể công trình. Sơ đồ bố trí mốc quan trắc thể hiện ở Hình 10. Trong thực tế, các mốc đo lún được lắp đặt tại các vị trí đặc trưng của các kết cấu chịu lực trên móng hoặc thân công trình nên việc quan trắc được tiến hành sau khi thi công xong phần nền móng và một phần độ lún đã xảy ra trước đó. Do đó, độ lún quan trắc được chính là độ lún do tải trọng của phần kết cấu bên trên, tương đương với độ lún tổng thể của toàn bộ công trình trừ đi độ lún do tải trọng bản thân của hệ móng.

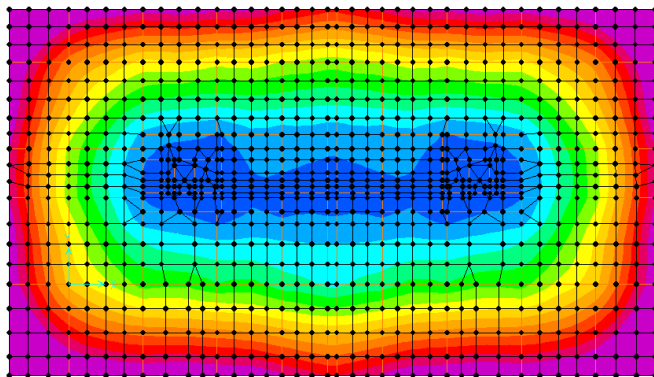
Kết quả mô phỏng ở Hình 10 và 11 cho thấy độ lún tại các vị trí ở chân cột không chênh lệch nhiều với nhau, khác biệt so với kết quả dự tính theo ứng suất do tải trọng ngoài tại các vị trí như đã nêu ở trên (độ lún dự tính ở tâm lớn hơn nhiều lần so với độ lún ở biên và góc). Đối với móng bè kết hợp xét sự làm việc đồng thời, do có sự phân bố lại lực dọc trong cột biên và cột góc nên độ lún phân bố đồng đều hơn.

Ở đây cũng lưu ý rằng độ lún dự tính theo thiết kế và độ lún thu nhận được từ kết quả mô phỏng là độ lún ổn định lâu dài căn cứ đặc trưng biến dạng ổn định của nền đất nên có giá trị lớn hơn so với độ lún quan trắc sau 280 ngày. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng và quan trắc

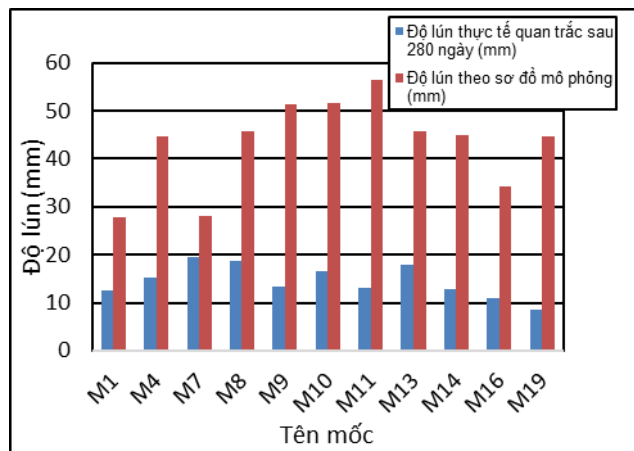
đều cho thấy độ lún chênh lệch tại các vị trí khác nhau không đáng kể, đảm bảo sự làm việc ổn định của công trình.



Hình 10. Sơ đồ vị trí bố trí mốc quan trắc lún của công trình.



Hình 11. Biểu đồ phân bố độ lún trên toàn móng.



Hình 12. Độ lún tại các mốc từ kết quả quan trắc sau 280 ngày và kết quả tính toán mô phỏng.

3. Kết quả thảo luận

Từ kết quả tính toán mô phỏng phân tích trường hợp làm việc đồng thời của khung kết cấu – móng bè và nền đất, tính toán riêng rẽ và so sánh với kết quả quan trắc lún tại các chân cột khi công trình vừa xây xong, có thể rút ra các nhận xét như sau:

- Kết quả phân tích đánh giá khung kết cấu – móng bè – nền làm việc đồng thời cho thấy nội lực trong khung – vách khác biệt đáng kể so với trường hợp tính toán tách rời. Lực dọc ở các cột góc lớn hơn đến 27 % và lực kéo trong vách cứng lớn hơn 60 % so với kết quả tính toán tách rời đồng thời lực dọc tại các cột giữa có khuynh hướng nhỏ hơn. Sự khác biệt nội lực chủ yếu xảy ra trong phạm vi ở các tầng dưới trong phạm vi 1/3 chiều cao công trình. Càng về phía các tầng cao hơn, sự chênh lệch càng giảm. Do đó, đối với móng bè, do có sự phân bố lại nội lực đối với mô hình làm việc đồng thời, cần xem xét khả năng chịu lực của các cấu kiện cột – vách để bố trí thép an toàn.

- Kết quả tính toán riêng rẽ theo ứng suất tại các vị trí khác nhau cho độ lún khác biệt đáng kể (độ lún dự tính ở tâm bản móng luôn có giá trị lớn hơn nhiều lần so với ở biên). Việc phân tích sự làm việc đồng thời cho phép xét độ cứng của móng và khung kết cấu công trình nên cho kết quả sự phân bố độ lún ổn định đồng đều hơn tại các vị trí khác nhau trong móng và phù hợp với kết quả quan trắc thực tế.

Tài liệu tham khảo

- [1]. А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин (2004). Взаимодействие зданий и оснований: методы расчета и их применение при проектировании. Реконструкция городов и геотехническое строительство. ISSMGE N^o 19. Санкт-Петербург. с. 129-145.
- [2]. Н.З. Готман, А.Л. Готман, Д.А. Давлетяков (2005). Учет совместной работы здания и основания в расчетах фундаментов при образовании карстовых деформаций. Труды Международной конференции по геотехнике «Взаимодействие сооружений и оснований: Методы расчета и инженерная практика». Издательство АСВ. Санкт-Петербург. с. 69-74.
- [3]. Nguyễn Hải Đăng, Bùi Trường Sơn. Ứng xử khung – móng nông – nền làm việc đồng thời. Tạp chí Địa kỹ thuật, Viện Địa kỹ thuật - VGI, số 2, năm 2008, trang 1 – 7.
- [4]. Viện nghiên cứu khoa học nền và công trình ngầm mang tên N.M. Ghéc Xê Va Nốp (2007). Chi dẫn thiết kế nền nhà và công trình. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [5]. David M. Potts and Lidija Zdravković (1999). Finite element analysis in geotechnical engineering. Thomas Telford.
- [6]. Sap 2000 Version 14.0.0 (2009). CSI Analysis reference manual.
- [7]. Báo cáo khảo sát địa chất công trình chung cư 157/R8 Tô Hiến Thành (02-2009).