LỌC TỔ HỢP NỘI LỰC CHO KẾT CẤU VÁCH CỨNG NHÀ CAO TẦNG THEO PHƯƠNG PHÁP GIẢ THIẾT VÙNG BIÊN CHỊU MOMENT BẰNG ỨNG DỤNG VBA

FILTERING LOAD COMBINATIONS FOR HIGH BUILDING SHEAR WALL STRUCTURES USING THE BOUNDARY ZONE MOMENT ASSUMPTION METHOD VIA VBA APPLICATION

Nguyễn Đình Kha - *Giảng viên Khoa Kỹ thuật Công Nghệ, Trường Đại học Cửu Long*
Email tác giả liên hệ: nguyendinhkha@mku.edu.vn

Tóm tắt: Vách cứng là một trong những kết cấu chịu lực quan trọng đối với nhà cao tầng. Ưu điểm lớn nhất của vách cứng là tính liền khối tốt, chịu được lực ngang lớn. Tuy nhiên, hiện nay việc tính toán cốt thép vẫn chưa được đề cập cụ thể trong tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam. Nghiên cứu này giới thiệu về phương pháp giả thiết vùng biên chịu moment vì phương pháp này khá thích hợp đối với trường hợp vách có tiết diện tăng cường ở hai đầu. Hơn hết, phương pháp này thiên về an toàn vì chỉ kể đến khả năng chịu moment của cốt thép. Bài báo tạo ra một phương pháp tính toán nội lực vách cứng dựa trên VBA Excel dùng để lọc tổ hợp nội lực lớn nhất cho việc tính thép vách cứng đối với nhà nhiều tầng theo phương pháp giả thiết vùng biên chịu moment. Lý thuyết đề xuất được minh họa bằng ví dụ số cho một công trình thực tế.
Từ khóa: Vách cứng, nhà nhiều tầng, tổ hợp nội lực, Visual basic application (VBA).

Abstract: Shear walls are among the most critical load-bearing structural elements in high-rise buildings. Their greatest advantage lies in their excellent monolithic behavior and their ability to resist significant lateral forces. However, in Vietnam, the calculation of reinforcement for shear walls has not yet been explicitly specified in the current design standards. This study introduces the Boundary Zone Moment Assumption Method, which is particularly suitable for shear walls with enlarged cross-sections at both ends. Furthermore, this method tends to favor safety by considering only the flexural capacity of the reinforcement. The paper proposes a method for calculating the internal forces of shear walls based on a VBA Excel application, aimed at filtering the maximum internal force combinations for the reinforcement design of shear walls in multi-story buildings according to the boundary zone moment assumption. The proposed theoretical approach is illustrated through a numerical example applied to a real-world project.
Keywords: Shear wall, tall building, combination, Visual basic application (VBA).

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh tốc độ đô thị hóa tại Việt Nam đang gia tăng nhanh chóng, nhu cầu về các công trình nhà ở nhiều tầng, đặc biệt là các tòa nhà cao tầng, ngày càng trở nên bức thiết. Điều này xuất phát từ thực tế quỹ đất tại các đô thị lớn ngày càng khan hiếm, trong khi dân số không ngừng tăng, dẫn đến giá trị đất đai và chi phí xây dựng liên tục leo thang. Giải pháp xây dựng nhà cao tầng không chỉ giúp tối ưu hóa việc sử dụng đất mà còn đáp ứng nhu cầu về không gian sinh hoạt và làm việc hiện đại cho cư dân đô thị. Tuy nhiên, việc thiết kế và thi công nhà cao tầng đòi hỏi phải giải quyết nhiều vấn đề kỹ thuật phức tạp, trong đó, việc đảm bảo độ ổn định và an toàn cho công trình trước các tác động ngang như gió mạnh và động đất là một yêu cầu then chốt. Để đạt được điều này, một trong những giải pháp kết cấu hiệu quả được áp dụng rộng rãi là thiết kế hệ thống vách cứng (Shear Wall System).

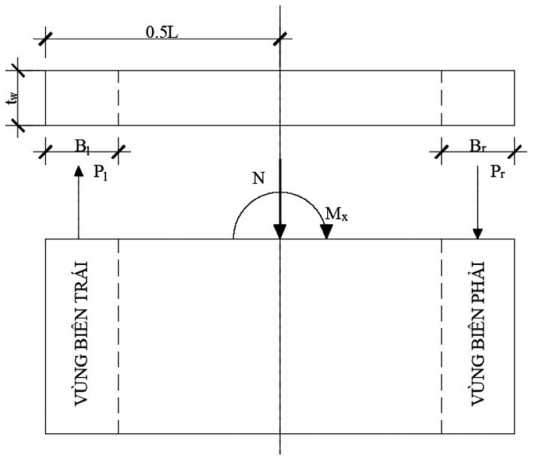
Bản chất của vách cứng là một hệ kết cấu chịu lực ngang có khả năng chịu mô men uốn và lực cắt rất lớn, giúp hạn chế đáng kể các chuyển vị ngang của công trình khi chịu tác động của ngoại lực động như gió bão và động đất. Hệ vách cứng đóng vai trò như "xương sống" cho công trình, phân phối và truyền tải các lực ngang xuống móng một cách an toàn và hiệu quả, đồng thời kiểm soát độ võng ngang nhằm đảm bảo sự ổn định tổng thể và cảm nhận an toàn cho người sử dụng [1].

Thực tế hiện nay có một số phương pháp tính toán vách cứng nhà nhiều tầng như vào năm 2018 theo [2] đã có phần mềm tính vách cứng bê tông cốt thép, phương pháp tính là phân bố ứng suất đàn hồi. Vào năm 2020, bảng tính kiểm tra vách đã có bán trên thị trường với giá thành cao. Theo tìm hiểu thì có rất ít phần mềm tính toán sử dụng bằng phương pháp vùng biên chịu moment [3].

Bài báo nhằm xây dựng lý thuyết tính toán vách cứng theo phương pháp vùng biên chịu moment và thiết lập bảng tính bằng cơ sở VBA trên nền Excel. Bên cạnh đó hỗ trợ rút ngắn thời gian tính toán vách cứng cho nhà nhiều tầng. Lý thuyết đề xuất được minh họa bằng ví dụ số cho một công trình thực tế.

2. Nội dung nghiên cứu

Vách cứng có chiều dài L(m), chiều dày t_w(m). Giả thiết B(m) là chiều dài của vùng biên chịu moment. Xét vách chịu lực nén dọc trục N và moment uốn trong mặt phẳng M_x. Moment M_x tương đương với một cặp ngẫu lực đặt ở hai vùng biên của vách như Hình 1 là P_l và P_r. Từ đây gọi chung để dễ phân biệt tùy trường hợp kéo hoặc nén là $P_{l,r}$.



Hình 1. Mặt cắt & mặt đứng vách cứng điển hình [4].

- Lực kéo hoặc nén trong vùng biên theo [4-5].

$$P_{l,r} = \frac{N}{A}A_b \pm \frac{M}{\left(L - 0.5B_l - 0.5B_r\right)} \quad (1)$$

- Khi xét trường hợp kéo, nén đối với moment ta được công thức (2), (3), (4) như sau

Lực nén: $$P_{l,r} = \frac{N}{A}A_b + \frac{M}{\left(L - 0.5B_l - 0.5B_r\right)} \quad (2)$$

Lực kéo: $$P_{l,r} = \frac{N}{A}A_b - \frac{M}{\left(L - 0.5B_l - 0.5B_r\right)} \quad (3)$$

Lực nén tại vùng giữa: $$P = \frac{N}{A}A_{giua} \quad (4)$$

Trong đó:

A_b: Diện tích của vùng biên, $A_b = B \times t_w$ (mm²).

A : Diện tích mặt cắt vách, $A = B \times t_w$ (mm²).

A_{giua}: Diện tích vùng giữa, $A_{giua} = A - 2A_b$ (mm²).

N: Lực nén tính toán dọc trục của vách (kN).

M: Moment uốn tính toán trong mặt phẳng (kNm).

B: Chiều dài vùng biên chịu moment (m), B = 0.2L.

$P_{l,r}$: Lực kéo nén của vách (kN).

L: Chiều dài của vách (m).

Cốt thép vùng nén được tính như công thức từ (5) đến (10).

Nếu: $P_{l,r} \geq 0$ $$A_{s(l,r)} = \frac{\frac{P_{l,r}}{\varphi} - R_b \times B_{l,r} \times t_w}{R_s} \quad (5)$$

Nếu: $P_{l,r} < 0$ $$A_{s(l,r)} = \frac{P_{l,r}}{R_s} \quad (6)$$

Cốt thép vùng kéo:

Nếu: $P_{l,r} \geq 0$ $$A_{s(l,r)} = \frac{\frac{P_{l,r}}{\varphi} - R_b \times B_{l,r} \times t_w}{R_s} \quad (7)$$

Nếu: $P_{l,r} < 0$ $$A_{s(l,r)} = \frac{P_{l,r}}{R_s} \quad (8)$$

Cốt thép vùng giữa:

Nếu: $P \geq 0$ $$A_{s,g} = \frac{\frac{P}{\varphi} - R_b \times B_g \times t_w}{R_s} \quad (9)$$

Nếu: $P < 0$ $$A_{s,g} = \frac{P}{R_s} \quad (10)$$

Trong đó:

A_s: Diện tích cốt thép (mm²).

R_b: Cường độ chịu nén của bê tông ở TTGH thứ I (MPa).

R_s: Cường độ chịu kéo của cốt thép ở TTGH thứ I (MPa).

t_w: Bề dày của vách cứng (m).

φ : hệ số phụ thuộc vào độ mảnh λ của vách cứng, λ được tính bằng công thức.

$$\lambda = \frac{0.7 \times h}{0.2887 \times t_w} \quad (11)$$

Nếu $\lambda \geq 14$ thì: $\varphi = 1.028 - 0.0000288\lambda^2 - 0.0016\lambda$ (12)

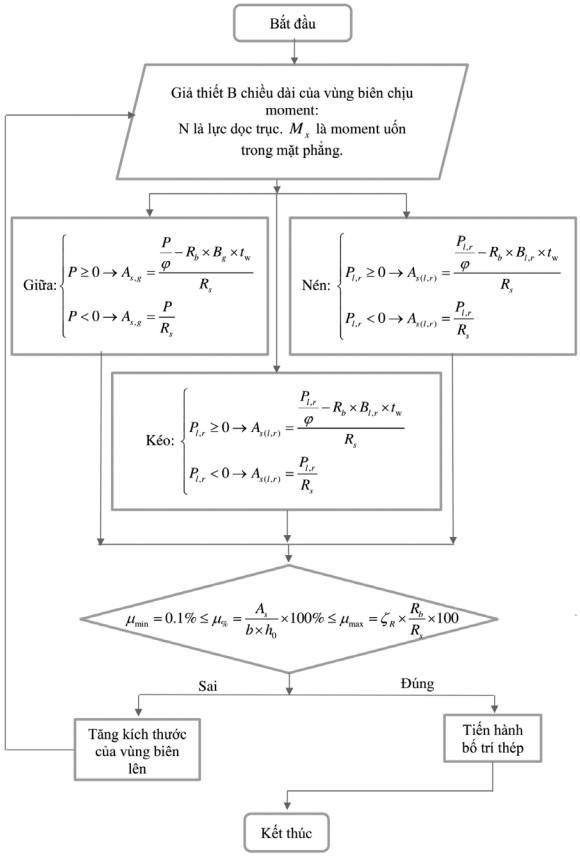
Nếu $\lambda < 14$ thì: $\varphi = 1$

Nếu không thỏa mãn thì phải tăng kích thước B của vùng biên rồi tính lại từ phương trình (1). Chiều dài của vùng biên B có giá trị lớn nhất là L/2, nếu vượt quá giá trị này cần tăng bề dày vách. Hoặc kiểm tra phần tường còn lại giữa hai vùng biên như đối với cấu kiện chịu nén đúng tâm. Trường hợp bê tông đã đủ khả năng chịu lực thì cốt thép chịu nén trong vùng này được đặt theo cấu tạo (Hình 2).

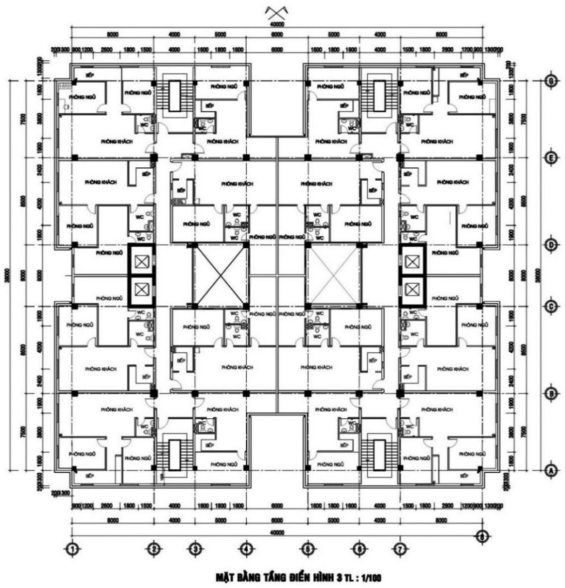
3. Ví dụ áp dụng

Lý thuyết tính toán được áp dụng cho công trình chung cư Bắc Đinh Bộ Lĩnh, quận Bình Thạnh, TPHCM [7] như Hình 3. Công trình là một khối nhà có chiều dài 43m, chiều rộng 41m chiếm tổng diện tích đất xây dựng 1763m², gồm 11 tầng, 1 hầm, 1 trệt, 9 tầng lầu. Tầng hầm có chiều cao 3.0m, tầng trệt có chiều cao 5.0m, chiều cao tầng 1 đến tầng 9 là 3.6m, công trình thuộc loại công trình dân dụng cấp 2 (8-20 tầng).

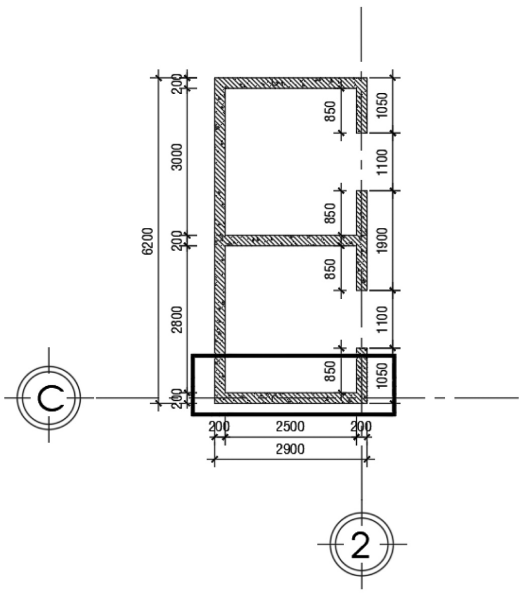
Vách P1 của công trình có chiều cao 3.6m, chiều dài 2.9m và chiều rộng 0.2m như hình 4. Đầu tiên



Hình 2. Thuật toán thiết lập phép toán thép cho vách cứng



Hình 3. Mặt bằng tầng điển hình của công trình



Hình 4. Vị trí và kích thước của vách P1

nhập dữ liệu công trình vào phần mềm Etabs. Sau đó dùng nội lực xuất ra từ Etabs để tải dữ liệu vào bảng tính. Bảng tính sẽ xuất ra tất cả các nội lực của vách P1 ở các tầng để lọc tổ hợp nội lực gồm 418 tổ hợp nội lực. Từ đó bảng tính sẽ giúp lọc tổ hợp nội lực lớn nhất để tính thép cho vách cứng của công trình và ta có được bảng tính như Bảng 1.

Ta đi tính cụ thể bằng phương pháp thủ công cho vách ở tầng 9 COMB11 (mặt cắt Top):
N=-459.01 (kN); M=363.94 (kN.m).

Số liệu:

Bê tông B30 có: R_b = 17MPa; R_{bt} = 1.2MPa; E_b = 32500MPa

Bảng 1. Kết quả tính thép cho vách P1 sau khi lọc tổ hợp nội lực.

Tầng	Tổ hợp	Mặt cắt	Lực dọc N (kN)	Lực cắt V(kN)	Momen M(kNm)	Vùng biên trái		Vùng biên giữa		Vùng biên phải	
						P^{tr} (kN)	A_{st} (cm²)	P (kN)	A_{st} (cm²)	P^{ph} (kN)	A_{st} (cm²)
T9	COMB11	Top	-459.01	-132.24	363.94	65.07	1.78	275.41	-153.73	248.67	-46.49
	COMB14	Top	-484.25	-142.08	334.87	47.49	1.30	290.55	-153.27	241.19	-46.71
	COMB9	Bottom	-108.48	-152.73	-271.94	138.91	-49.81	65.09	-160.11	95.52	2.62
T8	COMB5	Top	-496.74	-112.89	268.82	16.52	0.45	298.05	-153.04	215.22	-47.50
	COMB14	Top	-691.33	-144.16	193.06	55.05	-52.36	414.80	-149.50	221.48	-47.31
	COMB10	Bottom	-355.07	-113.05	-275.98	189.97	-48.27	213.04	-155.62	47.94	1.31
T7	COMB5	Top	-739.39	-147.09	357.44	6.19	0.17	443.63	-148.63	301.95	-44.87
	COMB14	Top	-998.58	-166.95	234.31	98.72	-51.03	599.15	-143.91	300.71	-44.91
	COMB9	Bottom	-541.26	-68.67	-270.26	224.74	-47.21	324.76	-152.23	8.24	0.23

T6	COMB14	Bottom	-969.55	-189.50	-270.34	310.44	-44.61	581.73	-144.44	77.38	-51.68
	COMB14	Top	-1219.22	-190.91	232.92	143.45	-49.68	731.53	-139.89	344.24	-43.59
	COMB11	Top	-1143.75	-201.53	405.12	54.13	-52.39	686.25	-141.27	403.37	-41.79
T5	COMB14	Bottom	-1105.40	-214.03	-278.75	341.23	-43.68	663.24	-141.97	100.93	-50.97
	COMB11	Top	-1397.78	-225.15	404.31	105.28	-50.83	838.67	-136.65	453.83	-40.26
	COMB11	Top	-1397.78	-225.15	404.31	105.28	-50.83	838.67	-136.65	453.83	-40.26
T4	COMB11	Bottom	-1457.57	-246.93	-248.73	398.73	-41.93	874.54	-135.56	184.30	-48.44
	COMB17	Top	-1670.79	14.59	101.45	290.43	-45.22	1002.47	-131.68	377.89	-42.57
	COMB11	Top	-1644.28	-248.69	378.30	165.80	-49.00	986.57	-132.16	491.92	-39.11
T3	COMB11	Bottom	-1690.80	-269.24	-331.09	480.87	-39.44	1014.48	-131.31	195.45	-48.10
	COMB17	Bottom	-2140.85	58.28	-60.35	454.18	-40.25	1284.51	-123.12	402.16	-41.83
	COMB11	Top	-1882.08	-271.40	325.32	236.19	-46.86	1129.25	-127.83	516.64	-38.36
T2	COMB11	Bottom	-1918.64	-304.86	-460.39	582.17	-36.37	1151.18	-127.17	185.29	-48.41
	COMB17	Bottom	-2682.50	101.83	-29.80	549.35	-37.37	1609.50	-113.27	523.65	-38.15
	COMB17	Top	-2584.26	98.62	43.36	498.16	-38.92	1550.56	-115.05	535.54	-37.78
T1	COMB11	Bottom	-2120.12	-290.42	-592.69	679.49	-33.42	1272.07	-123.50	168.55	-48.92
	COMB17	Bottom	-3249.64	145.37	-23.38	660.00	-34.01	1949.78	-102.95	639.85	-34.62
	COMB6	Bottom	-571.07	-301.25	-279.67	234.76	-46.91	342.64	-151.69	6.33	0.17
Trệt	COMB11	Bottom	-2289.59	-372.18	-975.22	878.27	-27.39	1373.76	-120.42	37.57	-52.89
	COMB17	Bottom	-4107.63	175.67	-47.34	841.93	-28.49	2464.58	-87.33	801.12	-29.73
	COMB5	Bottom	-1865.25	-394.86	-1035.94	819.58	-29.17	1119.15	-128.14	73.48	2.01
TH1	COMB6	Top	-340.12	-118.83	202.66	19.33	0.53	204.07	-155.89	155.38	-49.31
	COMB17	Bottom	-4845.14	87.09	-95.74	1010.3	-23.39	2907.08	-73.91	927.76	-25.89
	COMB5	Bottom	-2129.33	-345.03	-1227.15	954.81	-25.07	1277.60	-123.33	103.08	2.82

Cốt thép có: $R_s = R_{sc} = 365MPa$; $E_s = 200000MPa$

Kích thước vách:

+ Chiều dài L: 2.9m.
+ Chiều rộng b: 0.2m.
+ Chiều cao H: 3.6m.
+ Vùng biên B: $B_l = B_r = 0.2 \times L = 0.58m$.

- Tính toán cốt thép dọc:

Lực kéo nén tại vùng biên.

$$P_{l,r} = \frac{N}{A}A_b \pm \frac{M}{\left(L - 0.5B_l - 0.5B_r\right)} =$$

$$= \frac{459.01}{0.58} \times 0.116 \pm \frac{363.94}{\left(2.9 - 0.58\right)} =$$

$$= 248.67kN \;\&\; -65.07kN$$

Lực kéo nén tại vùng giữa.

$$P = \frac{N}{A}A_{giua} = \frac{459.01}{0.58} \times 0.348 = 275.41kN$$

Trong đó:

Diện tích vùng biên, $A_b = B \times b = 0.58 \times 0.2 = 0.116m^2$

Diện tích vùng giữa, $A_{giua} = A - 2A_b = 0.58 - 2\,0.116 = 0.348m^2$

Diện tích mặt cắt vách, $A = L \times b = 2.9 \times 0.2 = 0.58m^2$

Độ mảnh:

$$\lambda = \frac{0.7 \times h}{0.288 \times t_w} = \frac{0.7 \times 3.6}{0.288 \times 0.2} = 43.64 > 14$$

$$\rightarrow \varphi = 1.028 - 0.0000288\lambda^2 - 0.0016\lambda = 0.9$$

Tính cốt thép của cấu kiện.

Vùng biên nén:

$$P_{l,r} = 248.67kN > 0 \rightarrow A_{s(l,r)} =$$

$$= \frac{\frac{P_{l,r}}{\varphi} - R_b \times B_{l,r} \times t_w}{R_s} = \frac{\frac{248.67}{0.9} - 17000 \times 0.58 \times 0.2}{365000}$$

$$= -4.64 \times 10^{-3} m^2 = -46.49cm^2$$

Vùng biên kéo:

$$P_{l,r} = -49.71kN < 0 \rightarrow A_{s(l,r)} = \frac{P_{l,r}}{R_s} =$$

$$= \frac{65.07}{365000} = 0.178 \times 10^{-3} m^2 = 1.78cm^2$$

Vùng giữa:

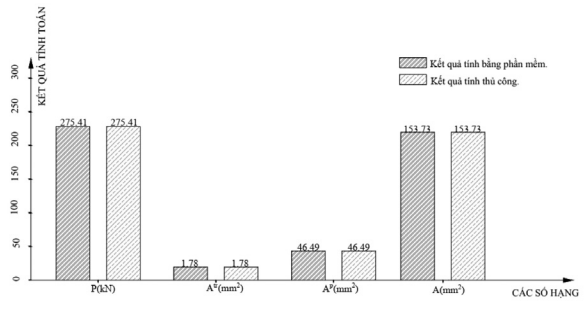
$$A_{s,g} = \frac{\frac{P}{\varphi} - R_b \times B_g \times t_w}{R_s} =$$

$$= \frac{\frac{275.41}{0.9} - 17000 \times 1.74 \times 0.2}{365000} =$$

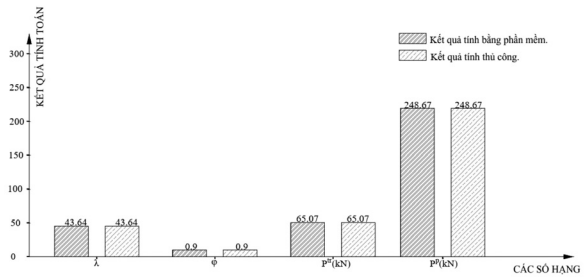
$$= -0.0153m^2 = -153.73cm^2$$

4. Kết quả và thảo luận

Qua kết quả từ ví dụ số trên cho chúng ta thấy được bảng tính với độ sai số hoàn toàn bằng không đối với kết quả tính toán thủ công. Thay vì chúng ta phải tính toán thủ công hết tất cả tổ hợp của công trình và xét tìm tổ hợp lớn nhất sẽ tốn khá nhiều thời gian, còn đối với bảng tính chỉ cần nhập các tổ hợp. Bảng tính sẽ tự xuất kết quả tính thép cho tất cả các tổ hợp các tầng và bảng tính sẽ tự tìm được các hợp nội lực lớn nhất để chọn thép cho công trình.



Hình 5. Biểu đồ so sánh các giá trị bảng tính và tính toán thủ công



Hình 6. Biểu đồ so sánh bảng tính và tính toán thủ công (tiếp theo)

Kết luận

Phương pháp tính toán nội lực trong nghiên cứu này được xây dựng dựa trên phương pháp giả thiết vùng biên chịu moment. Bản chất của phương pháp này là giả định rằng các vùng biên của vách – nơi có tiết diện được tăng cường – sẽ chịu phần lớn nội lực moment do tác động ngang gây ra, trong khi phần lõi ở giữa chủ yếu chịu lực nén. Phương pháp này tỏ ra đặc biệt phù hợp đối với các loại vách có hình dạng đặc biệt, như vách có tiết diện mở rộng hoặc tăng cường ở hai đầu (ví dụ như vách có cánh hoặc vách chữ T, chữ L). Một trong những ưu điểm lớn của phương pháp này là độ an toàn cao, do chỉ tính đến khả năng chịu moment của hệ cốt thép vùng biên, không xét đến phần bê tông chịu moment, từ đó đem lại biên độ an toàn nhất định trong thiết kế.

Trong khi đó, phương pháp ứng suất đàn hồi truyền thống lại tiếp cận theo một hướng khác: vách cứng được chia nhỏ thành nhiều phần tử bé, mỗi phần tử được giả định như một cấu kiện chịu nén đúng tâm (hoặc kéo đúng tâm), và nội lực phân phối tuyến tính theo ứng suất đàn hồi. Phương pháp này dựa trên giả thiết rằng vật liệu làm việc trong miền đàn hồi tuyến tính, nghĩa là ứng suất tỷ lệ thuận với biến dạng (theo định luật Hooke). Tuy nhiên, giả thiết này không hoàn toàn chính xác đối với vật liệu bê tông cốt thép. Trên thực tế, bê tông cốt thép là một loại vật liệu đàn-dẻo (elasto-plastic), có khả năng chịu ứng suất cao sau khi vượt qua giới hạn đàn hồi mà không gây phá hoại tức thời, và thể hiện hành vi phi tuyến tính rõ rệt, đặc biệt dưới tác động của lực nén lớn hoặc moment lệch tâm.

Để phản ánh đúng hơn bản chất làm việc của vách bê tông cốt thép, phương pháp sử dụng biểu đồ tương tác đã được phát triển. Theo phương pháp này, vách cứng được coi là một cấu kiện chịu nén lệch tâm – tức là chịu đồng thời cả lực nén dọc và moment uốn. Biểu đồ tương tác M-N (moment - lực dọc) được xây dựng dựa trên phân bố ứng suất phi tuyến trong tiết diện, trong đó toàn bộ hệ cốt thép phân bố trong tiết diện vách đều được kể đến khi xác định khả năng chịu lực. Phương pháp này có khả năng mô tả chính xác hơn hiện tượng phân bố nội lực trong vách, phản ánh đầy đủ mối quan hệ giữa biến dạng và ứng suất của cả bê tông và cốt thép, đồng thời thể hiện được sự thay đổi trạng thái làm việc từ đàn hồi sang dẻo. Tuy nhiên, nhược điểm lớn của phương pháp sử dụng biểu đồ tương tác là quy trình tính toán khá phức tạp, đòi hỏi phải thực hiện nhiều bước lặp nhằm xác định được mặt cắt nguy hiểm, tính toán chính xác ứng suất và biến dạng của từng vùng vật liệu trên tiết diện vách. Trong thực tế thiết kế, việc áp dụng phương pháp này thường cần đến sự hỗ trợ của các phần mềm chuyên dụng hoặc các công cụ lập trình tự động, như VBA trong Excel, để xử lý khối lượng tính toán lớn và phức tạp.❑

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lam. B.T (2008), "Nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí vách đến biến dạng xoắn và chuyển vị trong nhà cao tầng chịu tải trọng ngang, "Tạp chí khoa học và công nghệ, đại học Đà Nẵng, 2, pp.36-42.

[2] Thư Viện Xây Dựng Blog (2018). [Online]. Available: https://thuvienxaydungblog.wordpress.com/2018/03/09/file-excel-tinh-vach-cung/.

[3] Sáng. N, "rdone.net", (15/4/2020). [Online]. Available: https://rdone.net/file-excel-tinh-vach-cung-be-tong-cot-thep-excel-xay-dung-sa044/.

[4] Nguyễn Tuấn Trung, [01/6/2015]. Available: https://123docz.net/document/2795335-mot-so-phuong-phap-tinh-cot-thep-cho-vach-phang-btct.htm.

[5] Tầm. B. V (2012), Nhà Cao Tầng Bê Tông Cốt Thép, TP Hồ Chí Minh: NXB Đại học Quốc Gia.

[6] Hướng. T. P (2009), "Lập Trình VBA Trong Excel," Hà Nội, NXB Hà Nội.

[7] "www.i-5.biz," [Online]. Available: https://www.i-5.biz/lô-a-iv-chung-cư-bắc-đinh-bộ-lĩnh.