

Quy trình thiết kế khung thép theo khả năng có xét đến thiết kế tối ưu ngoài giai đoạn đàn hồi

Tóm tắt

Thiết kế kết cấu theo khả năng đã được nghiên cứu nhiều trên thế giới. Thiết kế theo khả năng là thiết kế sao cho sự sụp đổ của kết cấu theo một kịch bản mong muốn của người thiết kế, nhằm bảo vệ tính mạng của con người trong các trận động đất lớn. Ở Việt Nam một quy trình thiết kế theo khả năng đã được đưa vào trong tiêu chuẩn thiết kế kháng chấn - Tiêu chuẩn Việt Nam 375: 2006. Tuy nhiên theo quy trình trong tiêu chuẩn trên thường kết cấu sẽ sụp đổ theo một kịch bản không như mong muốn. Trong bài báo này các tác giả trình bày một quy trình thiết kế khung thép có xét đến thiết kế tối ưu khung ngoài giai đoạn đàn hồi để làm cho các khớp dẻo xuất hiện ở các vị trí mong muốn. Một ví dụ áp dụng thiết kế khung thép theo khả năng được thực hiện để minh họa cho quy trình này.

Từ khóa: thiết kế theo khả năng, kịch bản sụp đổ, khớp dẻo, tối ưu, kết cấu ngoài giai đoạn đàn hồi, khung phẳng.

1. Đặt vấn đề

Quy trình thiết kế theo khả năng đã được đề xuất và áp dụng lần đầu tiên ở New Zealand (1975) [1]. Hiện nay quy trình thiết kế theo khả năng trở thành nguyên lý cơ bản trong nội dung của tiêu chuẩn Việt Nam 375: 2006 [1],[3],[5]. Tuy nhiên quy trình trong tiêu chuẩn Việt Nam 375: 2006, sau khi thiết kế các cấu kiện theo cách thông thường, rồi tăng tiết diện của các cấu kiện cột lên một hệ số nào đấy để làm cho các cấu kiện dầm xuất hiện khớp dẻo, điều này nhiều khi các khớp dẻo không xuất hiện được như mong muốn vì khi tăng tiết diện tại các cấu kiện cột thì nội lực lại tăng lên và làm giảm nội lực ở dầm. Đồng thời vì theo cách thiết kế thông thường thì các tiết diện chưa tận dụng tối đa khả năng làm việc và sự phân bố tiết diện chưa hợp lý nên khớp dẻo xuất hiện tại các vị trí không mong muốn.

Trên cơ sở quy trình thiết kế theo khả năng trong tiêu chuẩn Việt Nam 375: 2006 bài báo xét thêm bài toán tối ưu kết cấu ngoài giai đoạn đàn hồi, nhằm mục đích phân bố nội lực một cách hợp lý và đưa các tiết diện đến khả năng làm việc tối đa (làm việc ngoài giai đoạn đàn hồi). Để khi tăng tiết diện các cấu kiện chính thì khớp dẻo xuất hiện được như mong muốn.

2. Quy trình thiết kế khung thép theo khả năng

2.1. Đối tượng và giả thiết của bài báo

- Kết cấu khung thép phẳng.
- Mô hình của vật liệu: Mô hình cứng - dẻo lý tưởng (CDLT).
- Nghiên cứu sự hình thành khớp dẻo chỉ do tải trọng ngang gây ra.
- Chỉ nghiên cứu tải trọng giới hạn theo độ bền vật liệu, không đề cập đến tải trọng giới hạn theo ổn định của kết cấu và theo chuyển vị.
- Khi xét sự hình thành khớp dẻo của cấu kiện chỉ xét ảnh hưởng của mômen uốn, bỏ qua ảnh hưởng của lực dọc và lực cắt.
- Không kể đến các mô hình trễ của vật liệu.

2.2. Tóm tắt về quy trình thiết kế theo khả năng theo tiêu chuẩn Việt Nam 375: 2006

Theo tiêu chuẩn Việt Nam 375: 2006 quy trình thiết kế này được thực hiện theo các bước sau [3], [5]:

- Lựa chọn một cơ cấu phá hoại dẻo có thể xảy ra ở cơ cấu theo mong muốn.
- Các vùng khớp dẻo phải được thiết kế để có độ bền thiết kế R_d lớn hơn hoặc bằng hệ quả tác động E_d (được lấy theo kết quả phân tích kết cấu) xuất hiện tại các vùng tới hạn trong tình huống thiết kế động đất.

- Các phần kết cấu được giữ lại làm việc đàn hồi phải được thiết kế để sao cho độ bền thiết kế R_d của chúng thoả mãn điều kiện $R_d \geq E_d$ trong đó E_d không phải được xác định từ phân tích kết cấu trong tình huống thiết kế động đất như ở các vùng khớp dẻo, mà là từ thiết kế theo khả năng, theo biểu thức sau:

$$E_d = \gamma_{Rd} \cdot R_d \quad (1.1)$$

Trong đó: E_d - độ bền yêu cầu của tiết diện cấu kiện làm việc đàn hồi;

R_d - độ bền thiết kế của tiết diện tại khớp dẻo;

γ_{Rd} - Hệ số vượt độ bền, $\gamma_{Rd} > 1$.

Theo tiêu chí của tiêu chuẩn trên thì biểu thức (1.1) chỉ thoả mãn khi các mômen cột luôn ngược chiều với mômen dầm.

2.3. Quy trình thiết kế khung thép theo khả năng.

Việc thiết kế kết cấu theo quy trình khả năng, của tiêu chuẩn Việt Nam như trên có những hạn chế sau: sau khi thiết kế các cấu kiện theo cách thông thường, rồi tăng tiết diện của các cấu kiện cột lên một hệ số nào đấy để làm cho các cấu kiện dầm xuất hiện khớp dẻo, điều này nhiều khi các khớp dẻo không xuất hiện được như mong muốn vì khi tăng tiết diện tại các cấu kiện cột thì nội lực lại tăng lên và làm giảm nội lực ở dầm. Đồng thời vì theo cách thiết kế thông thường thì các tiết diện chưa tận dụng tối đa khả năng làm việc và sự phân bố tiết diện chưa hợp lý nên khớp dẻo xuất hiện tại các vị trí không mong muốn. Do đó trong bài báo xét thêm bài toán tối ưu kết cấu ngoài giai đoạn đàn hồi, nhằm mục đích phân bố nội lực một cách hợp lý và đưa các tiết diện đến khả năng làm việc tối đa trước khi tăng tiết diện của các cấu kiện chính.

Từ những ý trên trong bài báo này nêu một quy trình sau:

Bước 1) Thiết kế tối ưu kết cấu làm việc ngoài giới hạn đàn hồi dưới tác dụng của tải trọng ngang theo [2],[9], việc này sẽ làm cho kết cấu đạt đến trạng thái giới hạn, mômen uốn tại các tiết diện nguy hiểm sẽ đạt đến mômen dẻo M_d .

Bước 2) Mômen của các cấu kiện được giữ lại làm việc đàn hồi sẽ được tăng lên để lớn hơn mômen dẻo đã thiết kế ở bước 1, việc này sẽ không phụ thuộc vào chiều của mômen.

Mục tiêu của quy trình này là: - Tiết kiệm vật liệu; - Hình thành một kịch bản sụp đổ tốt nhất.

Để đánh giá hiệu quả của quy trình đã nêu trên trong bài báo sử dụng phương pháp lập đàn hồi bằng phần mềm Sap 2000 để xây dựng kịch bản sụp đổ của khung sau khi đã được thiết kế theo quy trình trên.

3. Áp dụng tính toán

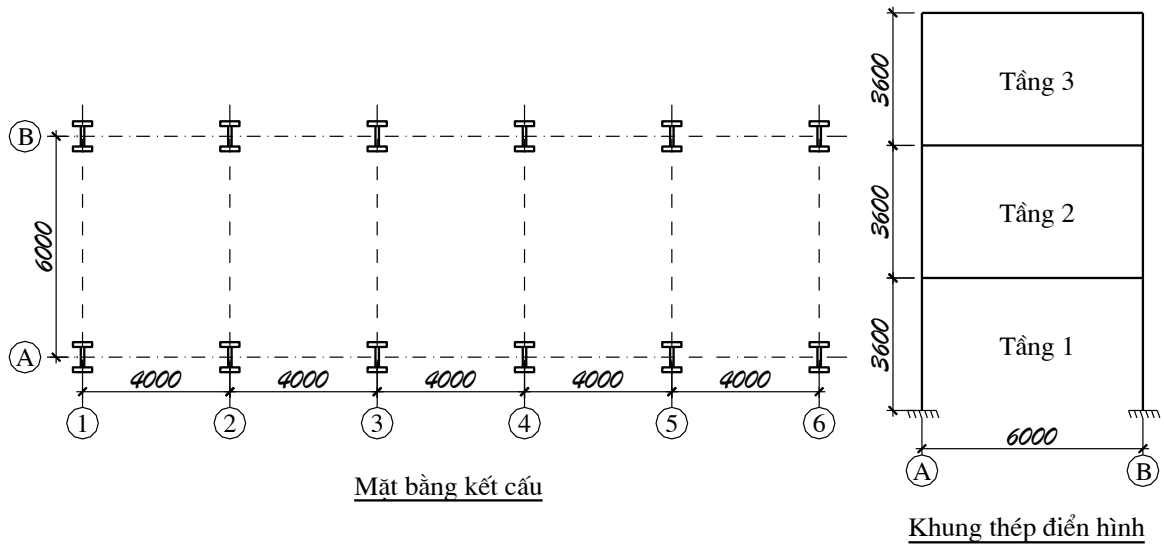
Trong phần này lấy ra một ví dụ là kết cấu khung 3 tầng 1 nhịp nhằm để minh hoạ cho phần lý thuyết của phần 2. Mục đích để kiểm tra xem quy trình thiết kế ở phần 2 có đạt được kết quả là khớp dẻo sẽ xuất hiện tại các vị trí dự kiến và theo cách thức mong muốn trên hệ kết cấu chịu lực không. Cụ thể trong kết cấu khung thì các khớp dẻo chỉ được xuất hiện ở 2 đầu dầm và ở chân cột tầng 1.

Cho một công trình có sơ đồ như hình 1. Yêu cầu: thiết kế kết cấu khung của công trình bằng quy trình thiết kế theo khả năng, (Công trình được xây dựng tại thành phố Vinh).

Các bước tính toán:

3.1. Xác định tải trọng động đất lên công trình.

Sử dụng phương pháp tính lực ngang tương đương.



Hình 1. Sơ đồ tính toán khung thép

Kết quả tính toán

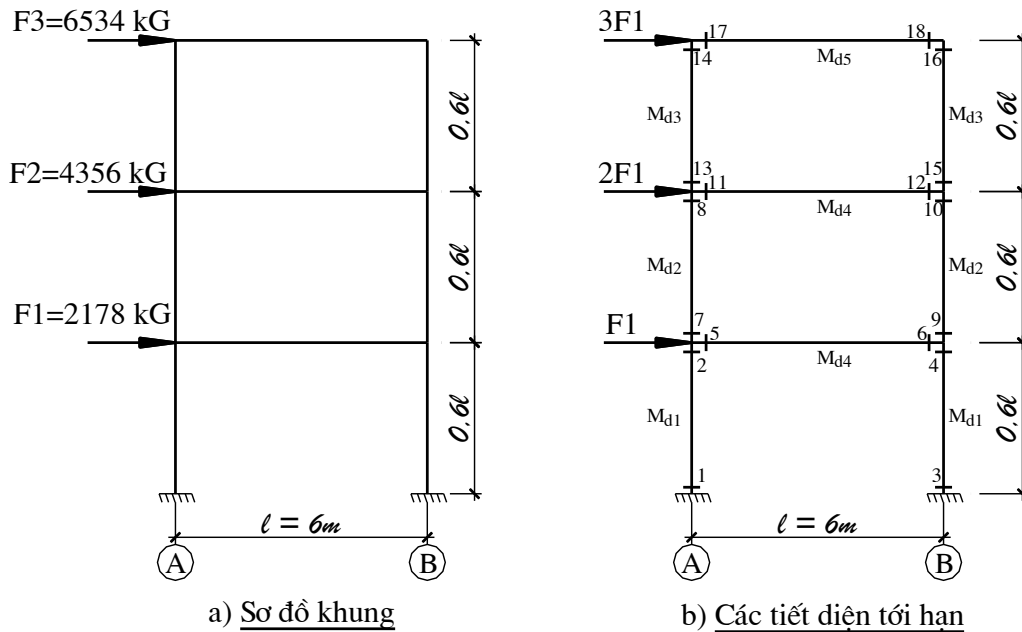
Sau khi tính toán ta thu được lực động đất tác động lên công trình được phân phối như bảng 1:

Bảng 1. Phân bố lực ngang trên chiều cao nhà

Tầng	z_i (m)	m_i (kG)	$z_i \cdot m_i$	F_b (kG)	h_i	F_i (kG)
1	3.6	8024.46	28888	13068	0.167	2177.99
2	7.2	8024.46	57776	13068	0.333	4355.97
3	10.8	8024.46	86664	13068	0.500	6533.96
Tổng			173328			13068

3.2. Thiết kế tối ưu khung thép làm việc ngoài giai đoạn đàn hồi.

Bài toán thiết kế này có hàm mục tiêu là tổng trọng lượng của các phần tử là nhỏ nhất.



Hình 2. Sơ đồ tính khung

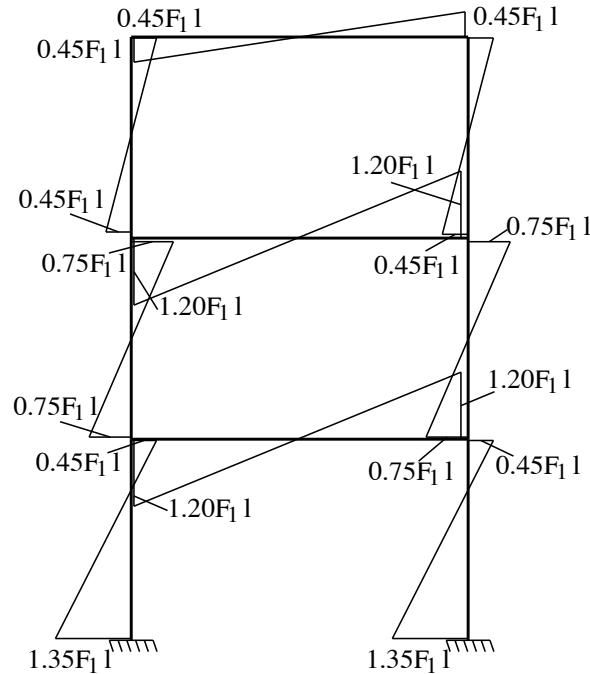
Kết quả tính toán:

Sau khi tính toán ta được kết quả sau:

$$Z_{\min} = 5.91F_1 \cdot l^2$$

$$\{M_{di}\}^T = F_1 l \{1.35; 0.75; 0.45; 1.2; 0.45\};$$

$$\{M_i\}^T = F_1 l \{1.35; 0.45; 1.35; 0.45; 1.2; -1.2; 0.75; 0.75; 0.75; 0.75; 1.2; -1.2; 0.45; 0.45; 0.45; 0.45; 0.45; -0.45\};$$



Hình 3. Biểu đồ mô men uốn dẻo M_d

3.3. Tăng tiết diện (tăng mômen dẻo thiết kế) của các cấu kiện được giữ lại làm việc đàn hồi.

Sau khi xác định được các mômen dẻo tại mỗi nút của các cấu kiện của hệ kết cấu ở bước trên (mục 3.2). Ta tăng mômen dẻo của các cấu kiện được giữ lại làm việc đàn hồi.

Dữ liệu đầu vào: $F_1 = 2178 \text{ kG}$; $l = 6\text{m}$; $f_y = 2200 \text{ (kG/cm}^2)$

$$\{M_{di}\}^T = F_1 l \{1.35; 0.75; 0.45; 1.2; 0.45\};$$

Tăng các tiết diện giữ lại làm việc đàn hồi lên giá trị: $\beta = 1,3$

- Tăng mômen cột tầng 1: Vì ta muốn mômen dẻo xuất hiện sớm trong chân cột tầng 1 nên trong trường hợp này giá trị mômen thiết kế ở đây lấy $M = M_{d1} = 1,35F_1 l = 17641,8 \text{ kG.m}$. (các trường hợp khác có thể tăng lên để đảm bảo cho các cột tầng trên không lớn hơn cột tầng 1).

- Tăng mômen cột tầng 2:

$$M_{d2} = 0,75F_1 l = 9801 \text{ kG.m};$$

$$M' = M_{d2} \cdot \beta = 9801 \cdot 1,3 = 12741,3 \text{ kG.m}$$

Với các β khác nhau ta được kết quả ở bảng 2:

Bảng 2. Giá trị mô men dẻo M' của các cột tầng 2 khi β thay đổi

β	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
$M_d(\text{kG.m})$	9801	9801	9801	9801	9801
$M'(\text{kG.m})$	12741,3	14701,5	16661,7	18621,9	20582,1

- Tăng mômen cột tầng 3:

Tương tự như cột tầng 2 ta được kết quả ở bảng 3:

Bảng 3. Giá trị mô men dẻo M' của các cột tầng 3 khi β thay đổi

β	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
M_d (kG.m)	5880,6	5880,6	5880,6	5880,6	5880,6
σ_δ	1772.98	1772.98	1772.98	1772.98	1772.98
M' (kG.m)	7644,78	8820,9	9997,02	11173,14	12349,26

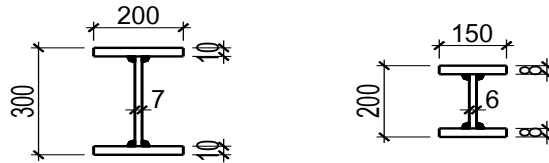
3.4. Xác định kích thước tiết diện cho các cấu kiện từ các mômen dẻo đã được xác định ở trên.

Với giá trị $\beta = 1,3$.

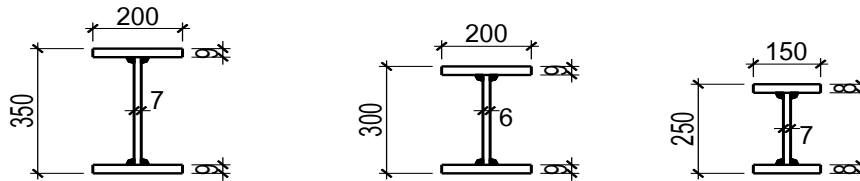
Kích thước tiết diện của các cấu kiện ứng với $\beta=1,3$ được tổng hợp trong bảng 4

Bảng 4. Các thông số mặt cắt dầm, cột ứng với $\beta = 1,3$

	Dầm tầng 1,2	Dầm tầng 3	Cột tầng 1	Cột tầng 2	Cột tầng 3
Chiều cao dầm: h (cm)	30	20	35	30	25
Bề rộng cánh: b (cm)	20	15	20	20	15
Chiều dày cánh: t (cm)	1	0.8	0.9	0.9	0.8
Chiều cao bụng: h_b (cm)	28	18.4	33.2	28.2	23.4
Chiều dày bụng: d (cm)	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7
S_x (cm ³)	358.6	140.592	403.346	321.543	193.112
M_d (kG.cm)	1577840	618605	1774722	1414789	849691



a) Tiết diện dầm tầng 1, 2 b) Tiết diện dầm tầng 3



c) Tiết diện cột tầng 1 d) Tiết diện cột tầng 2 e) Tiết diện cột tầng 3

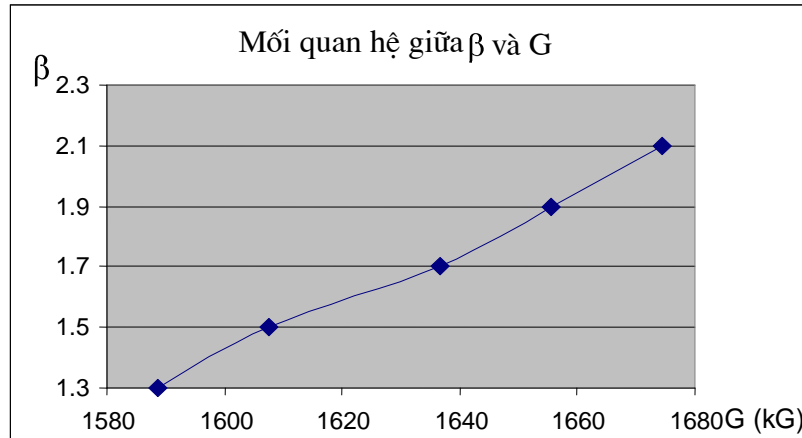
Hình 4. Kích thước tiết diện của dầm, cột

Tương tự, ứng với $\beta = 1.5$ ta có kích thước tiết diện của các cấu kiện được tổng hợp trong bảng 5

Bảng 5. Các thông số mặt cắt dầm, cột ứng với $\beta = 1,5$

	Dầm tầng 1,2	Dầm tầng 3	Cột tầng 1	Cột tầng 2	Cột tầng 3
Chiều cao dầm: h (cm)	30	20	35	30	25
Bề rộng cánh: b (cm)	20	15	20	20	15
Chiều dày cánh: t (cm)	1	0.8	0.9	0.9	0.9
Chiều cao bụng: h_b (cm)	28	18.4	33.2	28.2	23.2
Chiều dày bụng: d (cm)	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6
S_x (cm ³)	358.6	140.592	403.346	331.4835	203.04
M_d (kG.cm)	1577840	618605	1774722	1458527	893389

Khi chỉ số β tăng lên thì trọng lượng khung cũng tăng theo. Mỗi quan hệ giữa β và trọng lượng G của khung được thể hiện ở Hình 5



Hình 5. Mối quan hệ giữa β và trọng lượng G

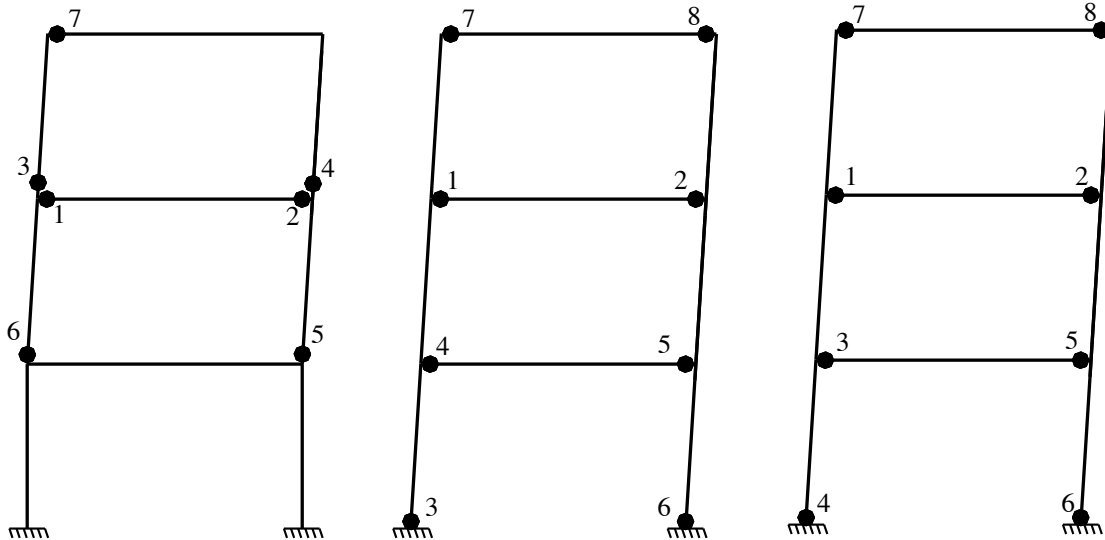
3.5. Kiểm tra sự hình thành khớp dẻo trong khung bằng phương pháp lập đàn hồi.

Để kiểm tra sự hình thành khớp dẻo trong khung, trong bài báo sử dụng phần mềm Sap 2000 và bảng tính Excel.

Khung kiểm tra ở đây ứng với $\beta = 1,3$

Kết quả: - Tải trọng lúc hệ hình thành cơ cấu là $F_1 = 2201,99$ (kG) lớn hơn một ít so với tải trọng đã cho $F_{1cho} = 2178$ (kG), sự lớn lên này là do tăng các cấu kiện giữ lại làm việc đàn hồi.

- Vị trí và thứ tự hình thành khớp dẻo trong khung được thể hiện ở hình 6b.



a) Trường hợp không tăng tiết diện

b) $\beta = 1,3$ và $\beta = 1,5$

c) $\beta = 1,7$ và $\beta = 1,9$

Hình 6. Vị trí và thứ tự xuất hiện khớp dẻo trong khung

Như vậy kết quả hình thành khớp dẻo đạt được như mong muốn.

Từ kết quả này ta thấy khi tăng chỉ số β lên (tăng kích thước tiết diện các cấu kiện làm việc đàn hồi) thì thứ tự xuất hiện các khớp dẻo có thay đổi. β càng lớn thì khớp dẻo xuất hiện ở trong dầm sớm hơn. Có nghĩa là càng tăng kích thước tiết diện (tăng β) của các cấu kiện làm việc đàn hồi thì khớp dẻo xuất hiện trong dầm sớm hơn chân cột. Nghĩa là vị trí xuất hiện khớp dẻo đảm bảo độ tin cậy hơn. Tuy nhiên nếu tăng β lớn quá \rightarrow tăng trọng lượng của kết cấu lên \rightarrow tăng chi phí. Cho nên tùy từng trường hợp cụ thể mà ta chọn β cho phù hợp.

Trong ví dụ chọn trước $\beta = 1.3$, là đảm bảo cho khớp dẻo xuất hiện ở 2 đầu dầm và ở chân cột tầng 1.

4. Kết luận

Kết luận: Mục đích chính của bài báo là nêu một quy trình thiết kế khung thép theo khả năng có xét đến thiết kế tối ưu ngoài giai đoạn đàn hồi có khả năng cải thiện quy trình thiết kế theo tiêu chuẩn TCXDVN 375: 2006. Quy trình này đã tạo ra được các khớp dẻo theo mong muốn của người thiết kế, nhằm đảm bảo đảm bảo một cơ cấu dẻo có khả năng phân tán năng lượng tốt nhất. Ví dụ đã được thực hiện để minh họa cho kết luận này.

Tuy nhiên khi nghiên cứu sự hình thành khớp dẻo trong khung chỉ xét thành phần mômen uốn mà bỏ qua ảnh hưởng của lực dọc và lực cắt vì vậy trong các hướng nghiên cứu tiếp theo cần xét ảnh hưởng của lực dọc, lực cắt trong sự hình thành khớp dẻo. Đồng thời không chỉ dừng lại ở kết cấu thép mà cần nghiên cứu các kết cấu khác như kết cấu bê tông cốt thép, kết cấu liên hợp thép bê tông....

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Lê Ninh (2010), *Cơ sở lý thuyết tính toán công trình chịu động đất*. Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật.
2. Lê Xuân Huỳnh (2006), *Tính toán kết cấu theo lý thuyết tối ưu*, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật.
3. TCXDVN 375: 2006, *Thiết kế công trình chịu động đất*.
4. TCXDVN 338: 2005, *Kết cấu thép tiêu chuẩn thiết kế*.
5. Eurocode 8.
6. Đoàn Định Kiến và các tác giả (2001), *Kết cấu thép*, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật.
7. Lê Thọ Trình (1995), *Cơ học kết cấu tập I,II*. Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật.
8. Nguyễn Văn Tú (2010), *Tính toán kết cấu khung phẳng chịu tác dụng của tải trọng động ngắn hạn có kể đến sự làm việc của vật liệu ngoài giai đoạn đàn hồi*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật – Học viện kỹ thuật quân sự.
9. Nguyễn Trọng Kiên (2010). *Ứng dụng lý thuyết độ tin cậy trong tính toán thiết kế khung thép theo khả năng*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật - Trường ĐHXD.
10. Dan Dubina, Miklos Ivanyi (1999). *Stability and ductility of steel structures*, Elsevier science Ltd - 1999.

Design process of steel frame according to its ability and pay attention of design optimization at plastic phase

Summary

Structural design according to ability has been studied around the world. Designed in capability is designed so that the collapse of structures under a scenario desired by the designer, in order to protect the lives of people in the big earthquake. In Vietnam, a process designed in the ability has been included in the anti-seismic design standards - Vietnam Standard 375: 2006. However, the process of structural standards generally will fall under one scenario not as desired. In this paper the author present a steel frame design process takes into account the optimal design frame external elastic phase to make the plastic joints appear in the desired position. An example application designed steel frame capable of being conducted to illustrate this process.

Keywords: Design according to ability, collapse scenario, plastic joints, optimization, plastic phase, frame.

Nguyễn Trọng Kiên¹, Nguyễn Thị Quỳnh¹

¹ Khoa Xây dựng, Đại học Vinh, 182 Lê Duẩn, Tp. Vinh

Điện thoại : 0982.761.498

Email: nguyentrongkien82@gmail.com