

# Tính toán kết cấu tường kép có gắn thiết bị giảm chấn trong dầm nối

## Computation of coupled shear wall structure with coupling beam damper

> **THS.NCS PHẠM THU HIỀN<sup>1</sup>, TS NGUYỄN HẢI QUANG<sup>2</sup>, GS.TS NGUYỄN TIẾN CHƯƠNG<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Trường Đại học Thủy lợi; E-mail: hienpt@tlu.edu.vn

<sup>2</sup> Trường Đại học Điện lực; E-mail: quangnh@epu.edu.vn

<sup>3</sup> Trường Đại học Thành Đông; E-mail: chuongnguyentien@gmail.com

### TÓM TẮT

Hệ tường kép được sử dụng hiệu quả trong nhà nhiều tầng như một phần của hệ thống chịu tải trọng ngang, chủ yếu là do khả năng kiểm soát chuyển vị ngang của kết cấu. Dầm nối có vai trò quan trọng trong việc đảm bảo cho hệ kết cấu ổn định ngay cả khi các dầm bị phá hoại. Vì vậy, dầm nối phải được tính toán và cấu tạo để độ bền và độ cứng có thể đáp ứng yêu cầu làm việc của kết cấu. Thiết kế kháng chấn hiện nay, một số giải pháp đã được đưa ra nhằm thay đổi đặc tính động lực của kết cấu như giảm chấn động, tăng độ cản, hấp thụ bớt và phân tán đều năng lượng động đất cho toàn bộ công trình. Trong đó, Thiết bị tiêu tán năng lượng đã và đang được sử dụng rộng rãi. Đặt thiết bị tiêu tán năng lượng trong dầm nối của hệ tường kép là vấn đề được đặt ra, đồng thời việc xây dựng ma trận độ cứng của phần tử thanh gắn thiết bị tiêu tán năng lượng và so sánh kết quả phân tích sử dụng 2 phần mềm tính toán khác nhau được trình bày trong bài báo. Kết quả khảo sát cho thấy sự phù hợp giữa 2 chương trình tính toán (chương trình tính toán tự thiết lập dựa trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Matlab và SAP2000), vì vậy ma trận độ cứng đã xây dựng có thể được sử dụng để mô hình dầm nối có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng trong hệ tường kép.

**Từ khóa:** Tường kép; dầm nối; thiết bị tiêu tán năng lượng; mô hình khung tương đương; ma trận độ cứng

### ABSTRACT

Coupled shear walls are effectively used in high-rise and tall buildings to resist the lateral loads induced by wind and earthquake hazards, mainly due to their ability to control lateral displacement of the structure. Coupling beams play an essential role in ensuring the stability of the structural system even when the beams fail. Therefore, the coupling beam must be designed so that the strength and stiffness can meet the working requirements of the structure. Recently, several solutions have been proposed to change the structure's dynamic characteristics such as reducing vibrations, increasing resistance, absorbing and evenly distributing earthquake energy for the whole building. Meanwhile, energy dissipation devices have been widely applied. This paper mainly focused on the construction of the stiffness matrix of the coupling beam damper, and comparison of peak displacement of 10-story coupled shear wall with energy dissipation devices from the results of usage analysis two different calculation software. The obtained results indicate the agreement between the two calculation programs (a self-configured calculation based on the Matlab programming language platform and the other using SAP2000), so the new stiffness matrix of the element can be used to analyze a coupling beam with an energy dissipation device in coupled shear wall.

**Keywords:** Coupled shear wall; coupling beam; energy dissipation systems; frame analogy; the stiffness matrix.

### 1. GIỚI THIỆU

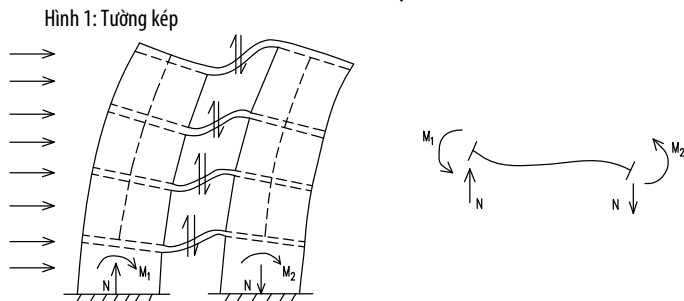
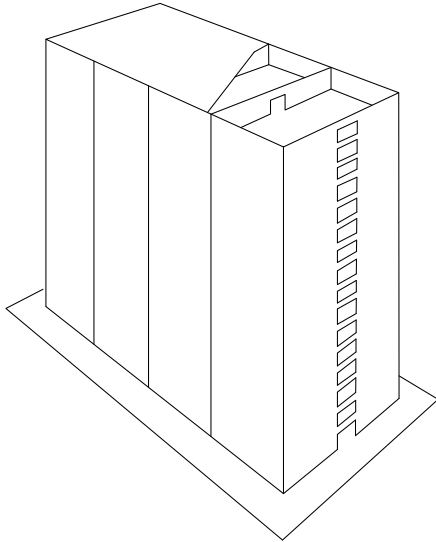
Đối với các công trình xây dựng hiện nay, vấn đề chịu tải trọng ngang có một ý nghĩa hết sức đặc biệt và đóng vai trò quan trọng trong hệ kết cấu chịu lực, nên các tấm tường chịu lực đều được thiết kế để chịu tải trọng ngang lẫn đứng. Do đó, trong các tiêu chuẩn kháng chấn, tường chịu lực còn được hiểu theo nghĩa vách cứng hoặc tường chịu cắt. Các tường chịu lực hay bị giảm yếu bởi các lỗ trống xuyên qua bề dày của nó. Khi tường có kích thước lớn hơn quy định (lớn hơn 8m) [1], có thể chia tường thành các tường nhỏ hơn, tạo ra tường kép (tường có dây lỗ). Thông thường các lỗ

có dạng hình chữ nhật, có kích thước giống nhau và được bố trí cách nhau đều đặn. Trong thực tế, kết cấu tường kép thường được thiết kế theo yêu cầu cho các cửa sổ trên các bức tường đầu hồi bên ngoài, hoặc cho các cửa ra vào hoặc hành lang trong các bức tường bên trong (Hình 1).

Kết cấu tường kép bao gồm hai hay nhiều tường đơn được kết nối bằng dầm hoặc các bản sàn theo chiều cao tầng. Các dầm được sử dụng để nối giữa hai tường đơn với nhau gọi là dầm nối. Trong kết cấu tường kép, dầm nối làm tăng hiệu quả các lực dọc trục, giảm mômen uốn trong tường và chuyển vị ngang của kết

cấu. Đặc điểm chính của dầm nối là có khả năng chịu biến dạng lớn và lực cắt là chủ yếu.

Khi hai bức tường được liên kết bởi các dầm nối, từng tường đơn không còn làm việc như một công xôn theo phương đứng, mômen tác dụng sẽ ngăn cản 2 bức tường hoạt động như một cấu kiện độc lập, uốn quanh trục trung hòa của 2 tường. Khi tường biến dạng dưới tác dụng của tải trọng ngang (Hình 2), các đầu của dầm nối phải xoay và chuyển vị theo phương đứng, vì vậy dầm uốn theo đường cong và ngăn cản mômen uốn tự do của tường. Tác động uốn gây ra lực cắt trong dầm nối, tạo ra mômen uốn có chiều ngược lại với các mômen uốn bên ngoài tác dụng, trên mỗi tường.



Hình 2: Ứng xử của tường kép khi chịu tải trọng ngang [2]

Do sự có mặt của dầm nối - thường có tiết diện bé hơn nhiều so với các tường, làm cho hệ tường kép làm việc phức tạp hơn so với hệ tường đơn. Mômen trong các cột tường lớn nhất tại chân tường và giạt cấp lên phía trên. Trong khi đó lực cắt lớn nhất xuất hiện tại một vị trí thường là ở khoảng 1/3 đến 1/4 chiều cao tường [1].

Theo TCVN 9386:2012 kết cấu tường kép có hệ số ứng xử cao hơn kết cấu tường chịu cắt thông thường, có nghĩa là về mặt phản ứng với tác động của tường kép tốt hơn. Cụ thể, khi thiết kế nhà nhiều tầng, nhiều nhịp theo cấp dầm kết cấu trung bình, hệ số ứng xử của hệ tường có dầm nối và tường thông thường tương ứng là 3.9 và 3.0. Với cấp dầm kết cấu cao, hệ số ứng xử là 5.85 và 5.2 tương ứng với hệ tường kép và hệ không thuộc hệ tường kép.

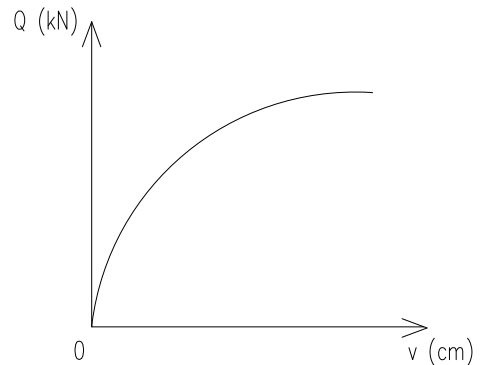
## 2. THIẾT BỊ GIẢM CHẶN THỤ ĐỘNG

Thiết bị giảm chấn thụ động là thiết bị mà nguồn năng lượng hoạt động của chúng được lấy từ chính năng lượng dao động của bản thân công trình. Do mong muốn tận dụng khả năng tiêu tán năng lượng, các loại thiết bị giảm chấn này thường được cấu tạo từ

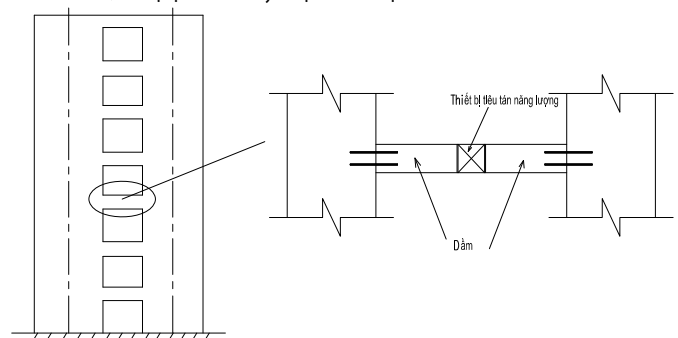
những vật liệu có khả năng nội ma sát lớn, hoặc từ những bộ phận phát sinh ma sát. Trong quá trình dao động của công trình, các bộ phận của thiết bị được gắn vào công trình sẽ chuyển động tương đối với nhau tạo ra ma sát và sinh năng lượng. Các dạng thiết bị này đã được ứng dụng tương đối rộng rãi như thiết bị cản dẻo bằng kim loại - Metallic Dampers, thiết bị cản ma sát - Friction Damper, thiết bị cản đàn nhớt - Visco - Elastic Dampers, thiết bị cản lỏng nhớt - Visco - Fluid Damper, thiết bị cách chấn đáy - Base Isolation, thiết bị điều chỉnh dao động bằng khối lượng - Tuned Mass Damper...[3]

Trong đó, thiết bị tiêu tán năng lượng là hệ thống tiêu tán năng lượng của các trận động đất, khác với hệ thống cách chấn đáy là hạn chế việc truyền lực động đất vào kết cấu. Sự tiêu tán năng lượng không ảnh hưởng đến kết cấu, công trình được bảo vệ bằng các cấu kiện có độ cứng cao được duy trì trong trường đàn hồi. Mục đích chính của thiết bị tiêu tán năng lượng là giảm tác động của động đất lên kết cấu. Nói cách khác, các lực tác động lên kết cấu chính được giảm bớt, thay vì để toàn bộ lực tác động lên các thành phần của kết cấu gây ra những thiệt hại không thể sửa chữa được.

Mục tiêu của nghiên cứu là sử dụng thiết bị tiêu tán năng lượng dùng thép cường độ thấp hoặc lõi chì có ứng xử trễ có dạng như các thiết bị được đề cập trên. Hình 4 cho thấy một sơ đồ dầm nối được đề xuất với thiết bị tiêu tán năng lượng. Các dầm nối được cấu tạo bao gồm 2 đoạn dầm (bê tông cốt thép hoặc thép hộp làm việc trong miền đàn hồi) và thiết bị tiêu tán năng lượng có ứng xử phi tuyến  $Q = k(v)v$  (với  $k > 0$ ) (Hình 3), đặt ở giữa nhằm mục đích tiêu tán năng lượng trong các trận động đất và ngăn ngừa thiệt hại nghiêm trọng của kết cấu.



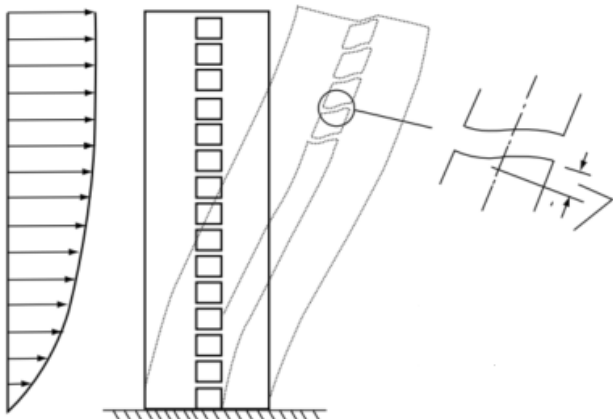
Hình 3: Quan hệ lực cắt và chuyển vị của thiết bị



Hình 4: Mô hình cấu tạo dầm nối có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng

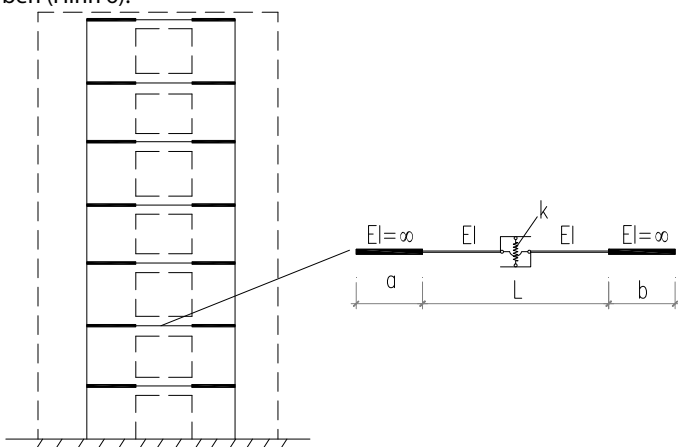
Khi một kết cấu tường có dầm nối trong nhà nhiều tầng chịu tải trọng ngang, các dầm nối bị biến dạng, lực cắt lớn xuất hiện trong các dầm dẫn đến độ lệch (trượt) trong kết cấu (Hình 5) [4]. Mục tiêu của bài báo hướng tới là xây dựng phần tử thanh gắn thiết bị tiêu tán năng lượng chịu được độ lệch giữa 2 tường trong kết cấu

tường có dây lổ nhà nhiều tầng, đồng thời có khả năng tiêu tán năng lượng của công trình dưới tác động của động đất.



Hình 5: Biến dạng của tường có dây lổ khi chịu tải trọng ngang

Để mô hình kết cấu tường kép, có thể sử dụng mô hình tấm (tường và dầm nối đều mô hình bằng các phần tử tấm) hoặc khung tương đương (sử dụng phần tử thanh để mô hình tường và dầm nối), tác giả sử dụng mô hình khung tương đương để mô hình tường (theo đề xuất của Stafford - Smith và cộng sự) [2]. Khi đó, cấu tạo của phần tử thanh bao gồm: 2 đoạn dầm tuyệt đối cứng (độ dài a và b), dầm nối có chiều dài L được cấu tạo bởi: thiết bị tiêu tán năng lượng (có khả năng trượt đứng và không có chuyển vị ngang) ở giữa và 2 dầm sử dụng vật liệu đàn hồi tuyến tính ở hai bên (Hình 6).



Hình 6: Cấu tạo phần tử thanh có 2 đầu cứng

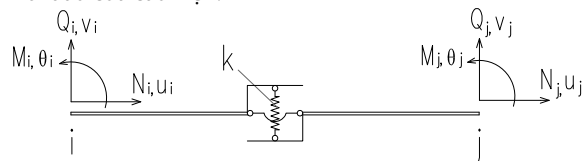
### 3. XÂY DỰNG MA TRẬN ĐỘ CỨNG CỦA PHẦN TỬ CÓ GẮN THIẾT BỊ TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG

Để xây dựng ma trận của phần tử thanh có 2 đầu cứng như Hình 6, cần phải xây dựng ma trận của phần tử thanh là dầm nối bao gồm thiết bị tiêu tán năng lượng và 2 đoạn dầm như Hình 7, sau đó sử dụng các bước chuyển ma trận từ hệ trục tọa độ địa phương về hệ trục tọa độ chung, để phân tích kết cấu.

Xét một phần tử thanh có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng ở giữa, với hệ số độ cứng của thiết bị k như Hình 7.

Ba bậc tự do (hai chuyển vị theo phương đứng và ngang, một chuyển vị xoay) được xét ở mỗi đầu của cấu kiện. Do đó, có sáu bậc tự do có thể có cho cấu kiện này và ma trận độ cứng thu được có bậc 6x6. Chiều dương của các chuyển vị đứng, ngang và chuyển vị xoay được quy định là dương như trong Hình 7. Các phần tử của ma trận độ cứng biểu thị các lực tác dụng lên cấu kiện bởi các

ngăn cản ở các đầu của cấu kiện khi các chuyển vị đơn vị được đặt ra ở mỗi đầu của cấu kiện.



Hình 7: Phần tử thanh

Trong đó:  $M_{i,j}, \theta_{i,j}$  : mômen uốn và góc xoay tương ứng tại i, j;

$N_{i,j}, u_{i,j}$  : lực dọc và biến dạng dọc trực tại i, j;

$Q_{i,j}, v_{i,j}$  : lực cắt và chuyển vị ngang tương ứng tại i và j.

Ma trận độ cứng của phần tử trong hệ tọa độ địa phương được thiết lập từ bài toán thanh chịu kéo nén dọc trục và thanh chịu uốn ngang phẳng, có dạng như sau:

$$[K_e] = \begin{bmatrix} K_{11} & 0 & 0 & K_{14} & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & K_{23} & 0 & K_{25} & K_{26} \\ 0 & K_{32} & K_{33} & 0 & K_{35} & K_{36} \\ K_{41} & 0 & 0 & K_{44} & 0 & 0 \\ 0 & K_{52} & K_{53} & 0 & K_{55} & K_{56} \\ 0 & K_{62} & K_{63} & 0 & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix} \quad (1)$$

#### ❖ Thanh chịu kéo nén dọc trục:

Dưới tác dụng của lực dọc trục  $N_i$  và  $N_j$  tác dụng vào các đầu thanh tạo ra chuyển vị dọc trục  $u_i$  và  $u_j$  như Hình 8. Từ quan hệ ứng suất và biến dạng, ta có:

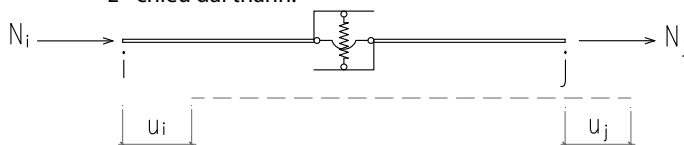
$$N_i = \frac{EA}{L}(u_i - u_j) \quad (2)$$

$$N_j = \frac{EA}{L}(u_j - u_i) \quad (3)$$

Trong đó: E - mô đun đàn hồi Young;

A - diện tích tiết diện;

L - chiều dài thanh.



Hình 8: Thanh chịu lực dọc

Ta có:

$$K_{11} = -K_{14} = -K_{41} = K_{44} = \frac{EA}{L} \quad (4)$$

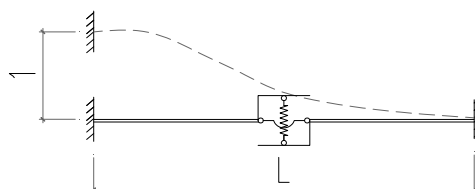
#### ❖ Thanh chịu uốn ngang phẳng:

Để xác định các phần tử của ma trận độ cứng trong trường hợp thanh chịu uốn, cần xác định các lực trong cấu kiện dầm trên khi chuyển vị đơn vị được đặt dọc theo mỗi bậc tự do và giữ tất cả các chuyển vị khác bằng không.

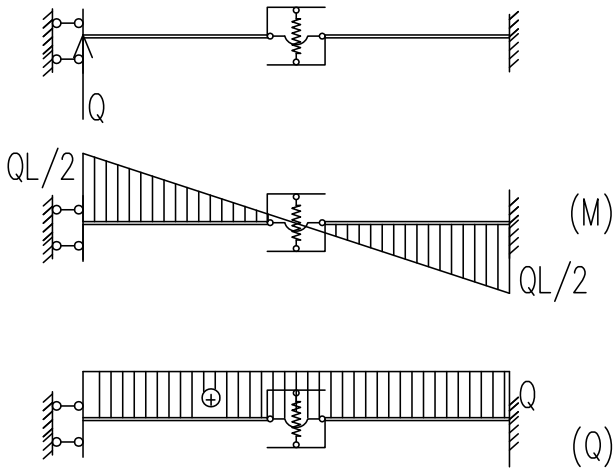
Đầu tiên áp đặt một chuyển vị đơn vị theo phương đứng ở đầu i của phần tử trong khi giữ tất cả các chuyển vị khác bằng không. Sự dịch chuyển này gây ra cả lực cắt và mômen trong dầm.

- Trường hợp 1: Chuyển vị tại i ( $\Delta_i = 1$ ) (Hình 9)

$$\Delta_i = 1$$



Hình 9: Chuyển vị tại i bằng đơn vị



Hình 10: Biểu đồ nội lực thanh khi chuyển vị tại i bằng đơn vị  
 - Áp dụng định lý Engesser thứ nhất [5], ta có tổng thế năng biến dạng bù của thanh được xác định như sau:

$$U^* = 2 \int_0^{L/2} \frac{M(x)^2}{2EI} dx + \int_0^Q vdQ = 2 \int_0^{L/2} \frac{(Qx - \frac{QL}{2})^2}{2EI} dx + \int_0^Q vdQ \quad (5)$$

$$\Delta = \frac{\partial U^*}{\partial Q} = 2 \int_0^{L/2} \frac{2Q \cdot (x - \frac{L}{2})}{2EI} dx + v = \frac{QL^3}{12EI} + \frac{Q}{k} \quad (6)$$

- Ta có:  $\Delta = 1$

$$\Rightarrow Q = \frac{k}{k + \frac{12EI}{L^3}} \cdot \frac{12EI}{L^3} \quad (7)$$

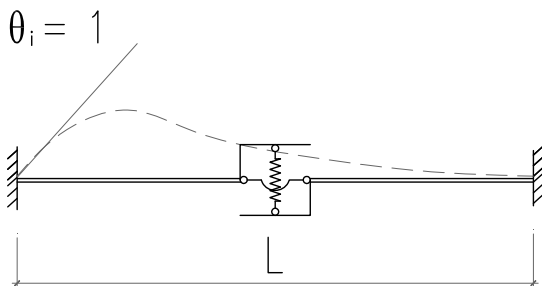
$$\text{Đặt: } \chi = \frac{k}{k + \frac{12EI}{L^3}} = \frac{1}{1 + \frac{12EI}{kL^3}} \quad (8)$$

$$\Rightarrow Q = \chi \cdot \frac{12EI}{L^3}$$

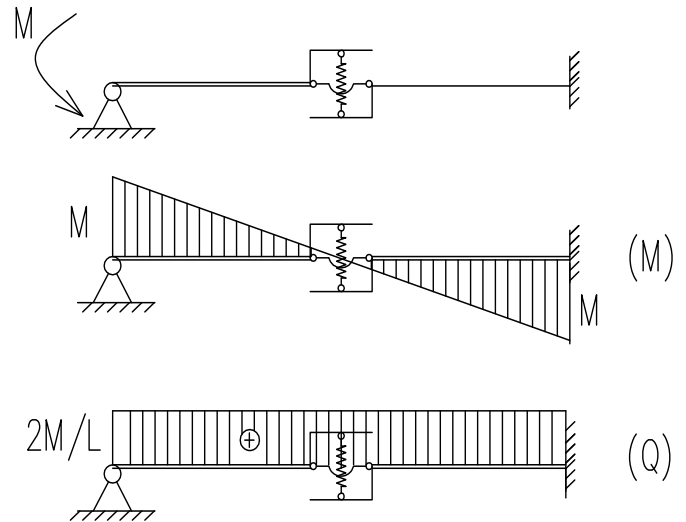
$$\begin{bmatrix} Q_i \\ M_i \\ Q_j \\ M_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{22} \\ M_{32} \\ Q_{52} \\ M_{62} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \chi \frac{12EI}{L^3} \\ \chi \frac{6EI}{L^2} \\ -\chi \frac{12EI}{L^3} \\ \chi \frac{6EI}{L^2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

• Trường hợp 2: Góc xoay tại i ( $\theta_i = 1$ ) (Hình 11)

Trong Hình 11, chuyển động xoay đơn vị theo chiều dương được áp dụng ở đầu i của dầm trong khi giữ tất cả các chuyển vị khác bằng không.



Hình 11: Góc xoay tại i bằng đơn vị



Hình 12: Biểu đồ nội lực thanh khi góc xoay tại i bằng đơn vị  
 - Áp dụng định lý Engesser thứ nhất, ta có tổng thế năng biến dạng bù của thanh được xác định như sau:

$$U^* = 2 \int_0^{L/2} \frac{M(x)^2}{2EI} dx + \int_0^Q vdQ = 2 \int_0^{L/2} \frac{(\frac{2M}{L}x - M)^2}{2EI} dx + \int_0^M vd \frac{2M}{L} \quad (10)$$

$$\theta = \frac{\partial U^*}{\partial M} = 2 \int_0^{L/2} \frac{2M \cdot (\frac{2}{L}x - 1)}{2EI} dx + \frac{2}{L} \cdot v = \frac{ML}{3EI} + \frac{4M}{kL^2} \quad (11)$$

Ta có:  $\theta = 1$

$$\Rightarrow M = \frac{k}{k + \frac{12EI}{L^3}} \cdot \frac{3EI}{L} \quad (12)$$

$$\text{Với: } \chi = \frac{k}{k + \frac{12EI}{L^3}} = \frac{1}{1 + \frac{12EI}{kL^3}} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} Q_i \\ M_i \\ Q_j \\ M_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{23} \\ M_{33} \\ Q_{53} \\ M_{63} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \chi \frac{6EI}{L^2} \\ \chi \cdot \frac{3EI}{L} \\ -\chi \frac{6EI}{L^2} \\ \chi \cdot \frac{3EI}{L} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Tính toán tương tự với chuyển vị và góc xoay tại j bằng đơn vị, ta có ma trận độ cứng của phần tử thanh khi chịu uốn có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng tại hệ tọa độ địa phương như sau:

$$[K_e]^{uon} = \begin{bmatrix} \chi \frac{12EI}{L^3} & \chi \frac{6EI}{L^2} & -\chi \frac{12EI}{L^3} & \chi \frac{6EI}{L^2} \\ \chi \frac{6EI}{L^2} & \chi \cdot \frac{3EI}{L} & -\chi \frac{6EI}{L^2} & \chi \cdot \frac{3EI}{L} \\ -\chi \frac{12EI}{L^3} & -\chi \frac{6EI}{L^2} & \chi \frac{12EI}{L^3} & -\chi \frac{6EI}{L^2} \\ \chi \frac{6EI}{L^2} & \chi \cdot \frac{3EI}{L} & -\chi \frac{6EI}{L^2} & \chi \cdot \frac{3EI}{L} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\text{Với: } \chi = \frac{1}{1 + \frac{12EI}{kL^3}}$$

❖ Thanh chịu cắt:

Nói chung, biến dạng cắt thường rất nhỏ, và được bỏ qua khi tính toán phần tử thanh. Tuy nhiên, với dầm có tỉ số nhịp trên chiều cao dầm nhỏ thì cần phải kể đến biến dạng cắt. Với lý thuyết dầm Euler - Bernoulli hay còn được gọi là lý thuyết dầm cổ điển, phần tử thanh có ma trận độ cứng như (15). Trong khi đó, theo lý thuyết dầm Timoshenko, có tính đến ảnh hưởng của biến dạng cắt, ma trận độ cứng (15) cần được điều chỉnh [6].

Xem xét ảnh hưởng của biến dạng cắt ở chuyển vị đứng và xoay:

- Chuyển vị đứng:

Khi chuyển vị đứng bằng đơn vị tại  $i$ , biến dạng cắt làm tăng tổng chuyển vị tổng từ 1 lên  $1 + \Phi$ , vì vậy cần chia các giá trị của ma trận độ cứng tại cột thứ nhất và cột thứ ba trong ma trận (15) cho  $1 + \Phi$ .

$$\text{Với: } \Phi = \frac{12EI}{L^2 \kappa GA}$$

$$\kappa = \frac{10(1+\nu)}{12+11\nu}$$

Trong đó:

A: diện tích tiết diện

E: mô đun đàn hồi Young

I: mô men quán tính

G: mô đun cắt

$\nu$ : hệ số Poisson

- Chuyển vị xoay:

+ Các lực ở đầu thanh khi góc xoay tại  $i$  bằng 1, trong trường hợp bỏ qua biến dạng cắt là:

$$Q_i = -Q_j = \chi \frac{6EI}{L^2} \quad (16)$$

$$M_i = M_j = \chi \frac{3EI}{L}$$

+ Xét đến ảnh hưởng của biến dạng cắt, khi tác động chuyển vị xoay bằng đơn vị tại đầu  $i$ , chuyển vị đứng tăng thêm  $0,5\Phi L$  lần theo chiều dương, nhưng lực không thay đổi.

+ Tuy nhiên, khi chuyển vị xoay bằng đơn vị tại  $i$ , thì các chuyển vị đứng và xoay tại vị trí đó phải bằng 0. Vì vậy, cần ngăn cản (biến dạng cắt này) bằng một giá trị tương ứng và ngược chiều, bằng cách thêm giá trị chuyển vị đứng  $-0,5\Phi L$  lần. Vì vậy, giá trị các lực trong cột một sẽ thay đổi như sau:

$$Q_i = -Q_j = \chi \frac{6EI}{L^2} \cdot \frac{1}{1+\Phi} \cdot (-0,5\Phi L) \quad (17)$$

$$M_i = M_j = \chi \frac{6EI}{L^2} \cdot \frac{1}{1+\Phi} \cdot (-0,5\Phi L)$$

Chú ý rằng các giá trị đã được chia cho  $(1+\Phi)$ .

+ Tổng tất cả các lực do chuyển vị xoay bằng đơn vị gây ra tại đầu  $i$ , sẽ bằng lực gây ra do biến dạng uốn (16) và do biến dạng cắt (17).

$$Q_i = -Q_j = \chi \frac{6EI}{L^2} + \chi \frac{12EI}{L^3} \cdot \frac{1}{1+\Phi} \cdot (-0,5\Phi L) \quad (18)$$

$$Q_i = -Q_j = \chi \frac{6EI}{L^2} \cdot \frac{1}{1+\Phi}$$

$$M_i = M_j = \chi \frac{3EI}{L} + \chi \frac{6EI}{L^2} \cdot \frac{1}{1+\Phi} \cdot (-0,5\Phi L) \quad (19)$$

$$M_i = M_j = \chi \frac{3EI}{L} \cdot \frac{1}{1+\Phi}$$

Khi đó ma trận độ cứng của phần tử thanh gắn thiết bị tiêu tán năng lượng, có xét đến ảnh hưởng của biến dạng cắt có dạng:

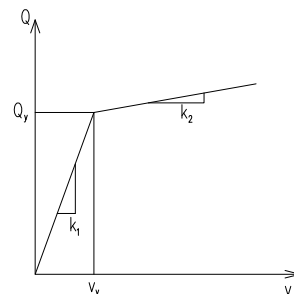
$$[K_e] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \chi \frac{12EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & \chi \frac{6EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & 0 & -\chi \frac{12EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & \chi \frac{6EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} \\ 0 & \chi \frac{6EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & \chi \frac{3EI}{L(1+\Phi)} & 0 & -\chi \frac{6EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & \chi \frac{3EI}{L(1+\Phi)} \\ \frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\chi \frac{12EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & -\chi \frac{6EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & 0 & \chi \frac{12EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & -\chi \frac{6EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} \\ 0 & \chi \frac{6EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & \chi \frac{3EI}{L(1+\Phi)} & 0 & -\chi \frac{6EI}{\tilde{E}(1+\Phi)} & \chi \frac{3EI}{L(1+\Phi)} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\text{Trong đó: } \Phi = \frac{12EI}{L^2 \kappa GA} \quad \kappa = \frac{10(1+\nu)}{12+11\nu} \quad \chi = \frac{1}{1 + \frac{12EI}{\kappa L^3}}$$

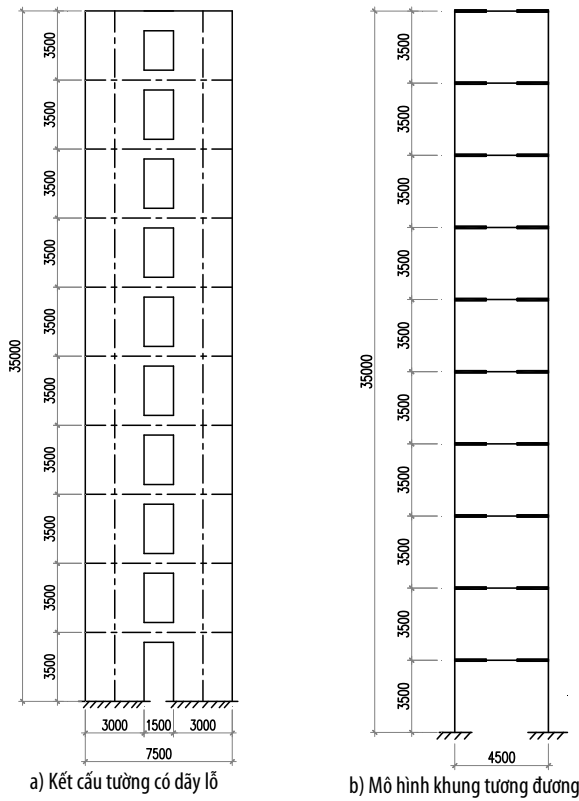
#### 4. MÔ HÌNH VÀ PHÂN TÍCH KẾT CẤU TƯỜNG CÓ DÂY LỖ

Bên cạnh các nghiên cứu về sự làm việc của dầm nối bê tông cốt thép thông thường [7], để khắc phục khả năng chịu kháng chấn kém của dầm, Paulay và Binney [8] đã đưa ra khái niệm cốt thép chéo trong dầm nối. Rất nhiều nghiên cứu khác đã được thực hiện nhằm tăng khả năng chống cắt cũng như khả năng tiêu tán năng lượng trong dầm nối, cùng với đó là nhiều giải pháp sử dụng vật liệu (thép, fiber, nhôm...) và các loại mô hình ứng xử trễ khác nhau của thiết bị tiêu tán năng lượng gắn vào dầm [9] [10]. Thông thường khi mô hình phần tử dầm nối được chia nhỏ thành các đoạn dầm, tuy nhiên, trong nghiên cứu này tác giả đề xuất mô hình phần tử dầm nối có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng là 1 phần tử, có ma trận độ cứng như công thức (20). Tiến hành khảo sát một kết cấu tường có dây lỗ, với dầm nối có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng sử dụng ma trận độ cứng như đề xuất, áp dụng phương pháp Newmark, sử dụng chương trình tính toán tự thiết lập có tên Tính Toán Khung Có Gắn Thiết Bị Giảm Chấn (TTKGC) dựa trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Matlab và so sánh kết quả khi sử dụng phần mềm SAP2000, để đánh giá tính chính xác của phần tử mới được lập.

Khảo sát kết cấu tường có dây lỗ 10 tầng (Hình 14a), kết cấu tường được mô hình hóa theo mô hình khung tương đương (Hình 14b) với chiều cao các tầng 3,5 m, nhịp nhà rộng 4,5 m, kích thước tiết diện dầm là 0,25 x 1,0 (m), kích thước cột là 0,25 x 3,0 (m), khối lượng  $m = 20,77$  kg đặt tại các điểm nút. Thiết bị tiêu tán năng lượng được gắn ở giữa dầm nhịp giữa (nhịp CD), ứng xử của thiết bị có mối quan hệ lực cắt, chuyển vị như Hình 13, được đặc trưng bởi các thông số  $Q_y$  - lực cắt tại điểm chảy dẻo; hai độ cứng  $k_1, k_2$ . Ma trận độ cứng của dầm CD được xác định theo công thức (20). Các tiết diện cột, dầm khác sử dụng vật liệu bê tông cốt thép làm việc trong miền đàn hồi, cấp độ bền B30, với mô đun đàn hồi  $E_b = 32\,500$  MPa.



Hình 13: Ứng xử của thiết bị tiêu tán năng lượng

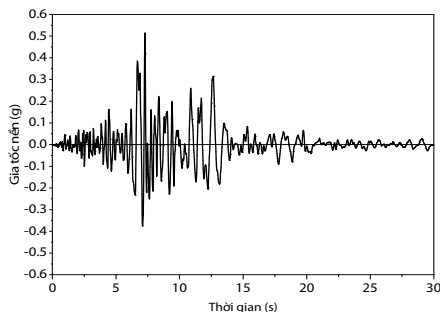
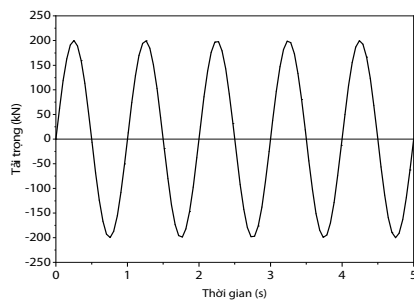


Hình 14: Khung bê tông cốt thép khảo sát

Để đánh giá tính chính xác của ma trận độ cứng phần tử thiết lập ở trên (20), tác giả tiến hành khảo sát kết cấu tường có dây lỗ, với 2 trường hợp tải trọng khác nhau: tải trọng động P(t) đặt tại đỉnh công trình có dạng hình sin với biên độ lớn nhất 200 kN trong thời gian 5 giây (

Hình 15), và gia tốc nền CAST360 được ghi nhận tại trận động đất xảy ra năm 1994, ở Los Angeles, Mỹ có đỉnh gia tốc nền 0,514g thời gian xảy ra động đất là 30 giây (

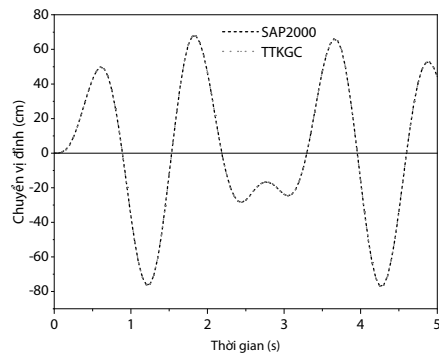
Hình 16).



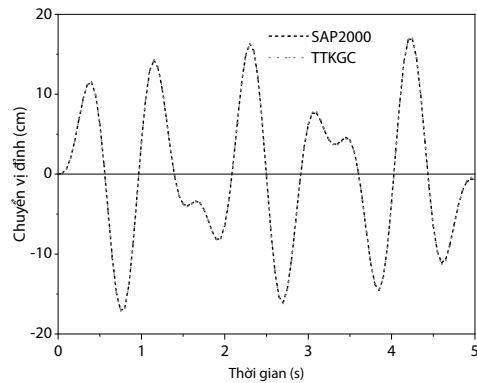
Như đã trình bày ở trên, mục tiêu thiết kế dầm nối có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng là chịu được độ lệch (trượt) giữa hai tường khi chịu tải trọng ngang, do đó thiết bị làm việc chịu cắt với mối quan hệ chuyển vị lực cắt như Hình 13. Để đánh giá tính chính xác của ma trận được thiết lập, tiến hành khảo sát kết cấu tường, cụ thể cần mô hình hóa dầm nối bằng chương trình tính toán TTKGC và phần mềm SAP2000. Với phần mềm SAP2000 để mô hình dầm nối, cần chia thành 2 phần tử độc lập, sau đó tại các trường hợp khảo sát độ cứng  $k_1 \rightarrow \infty$ : giải phóng mômen tại vị trí giữa dầm;  $k_1 \rightarrow 0$  thì ta tiến hành giải phóng mômen và lực cắt ở vị trí giữa dầm;  $k_1$  được gán bằng một giá trị bất kỳ thực hiện giải phóng mômen và lực cắt ở vị trí giữa dầm đồng thời thêm giá trị  $k_1$ .

Trong khi đó, khi sử dụng chương trình TTKGC, dầm nối được mô hình là 1 phần tử có ma trận độ cứng như trên (20), khi thay đổi giá trị  $k_1$ , ta chỉ cần cập nhật đúng giá trị cần khảo sát.

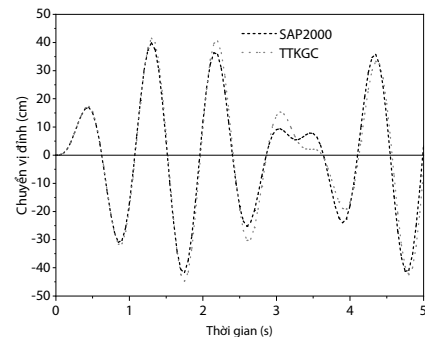
- Khi kết cấu tường chịu tải trọng ngang, có dạng hình sin, với biên độ lớn nhất là 200 kN, gắn ở đỉnh công trình, với các trường hợp khảo sát  $k_1 \rightarrow 0$ ,  $k_1 \rightarrow \infty$ ,  $k_1 = 2000$  kN/cm giá trị chuyển vị đỉnh theo thời gian tương ứng với Hình 17, Hình 18, Hình 19.



Hình 17: Chuyển vị đỉnh theo thời gian khi  $k_1 \rightarrow \infty$

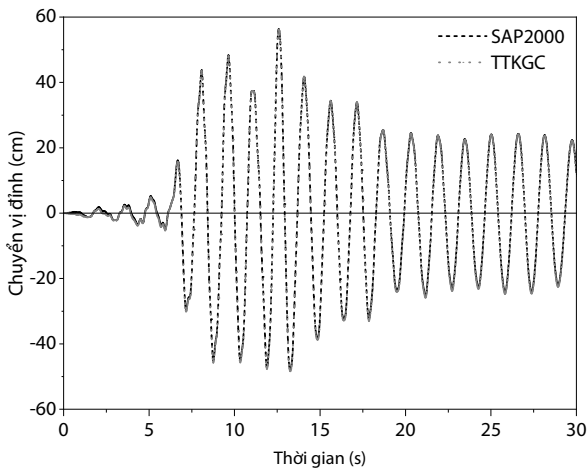


Hình 18: Chuyển vị đỉnh theo thời gian khi  $k_1 \rightarrow 0$

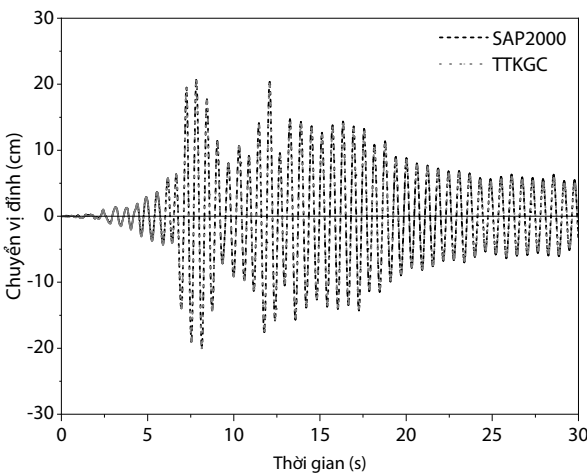


Hình 19: Chuyển vị đỉnh theo thời gian khi  $k_1 = 2000$  kN/cm

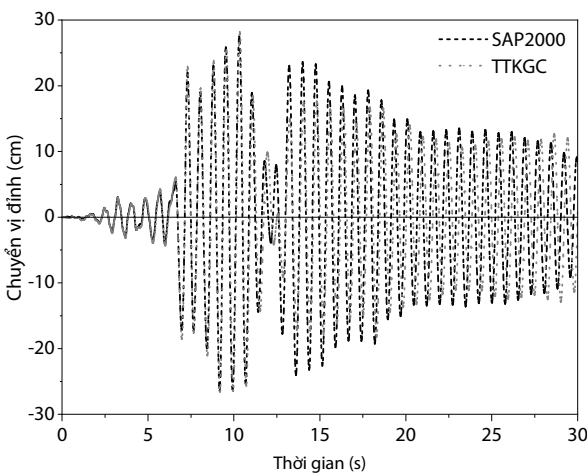
- Dưới tác dụng của tác động động đất CAST360, kết quả khảo sát giá trị chuyển vị đỉnh theo thời gian tương ứng với các trường hợp khảo sát  $k_1 \rightarrow 0$ ,  $k_1 \rightarrow \infty$ ,  $k_1 = 2000 \text{ kN/cm}$  là Hình 20, Hình 21, Hình 22.



Hình 20: Chuyển vị đỉnh theo thời gian khi  $k_1 \rightarrow 0$



Hình 21: Chuyển vị đỉnh theo thời gian khi  $k_1 \rightarrow \infty$



Hình 22: Chuyển vị đỉnh theo thời gian khi  $k_1 = 2000 \text{ kN/cm}$

Qua kết quả khảo sát có thể thấy, khi sử dụng chương trình TTKGC kết quả chuyển vị đỉnh theo thời gian thu được hoàn toàn phù hợp với việc mô hình kết cấu tường sử dụng phần mềm

SAP2000, khi tường chịu tải trọng động và động đất, và có sự thay đổi giá trị  $k_1$  như trên.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo thiết lập ma trận độ cứng của phần tử dầm nối có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng và khảo sát tính chính xác của ma trận thông qua việc so sánh giữa chương trình tính toán TTKGC dựa trên nền tảng Matlab và phần mềm SAP2000.

- Để thuận tiện cho việc mô hình hóa, cũng như giảm khối lượng tính toán, tác giả xây dựng ma trận độ cứng của phần tử dầm nối có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng bằng 1 phần tử, dựa trên nguyên lý của cơ học phi tuyến, sử dụng định lý Engesser thứ nhất;

- Phần mềm tự lập dựa trên nền tảng Matlab để phân tích kết cấu tường có dây có, sử dụng ma trận độ cứng để xuất ở trên;

- Dựa trên kết quả khảo sát, giá trị chuyển vị ngang tại đỉnh của kết cấu tường kép đạt được từ 2 chương trình tính toán khác nhau (TTKGC và SAP2000), với các dạng tải trọng khác nhau (động và động đất) và sự thay đổi giá trị độ cứng  $k_1$ , đều cho thấy sự thống nhất tương đối cao, vì vậy có thể sử dụng ma trận độ cứng để xuất cũng như chương trình tính toán đã thiết lập để phân tích kết cấu tường có dây lỏng trong các nghiên cứu tiếp theo.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Tiến Chương, *Phân tích kết cấu nhà nhiều tầng*. Nhà xuất bản xây dựng, 2015.
- [2] A. Coull and B. Stafford Smith, *Tall Buildings, The Proceedings of a Symposium on Tall Buildings*. Pergamon Press, 1967.
- [3] T. Soong, M. Constantinou, and G. F. Dargush, *Passive energy dissipation systems for structural design and retrofit*. Buffalo: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, 1998.
- [4] T.-S. Ahn, Y.-J. Kim, and S.-D. Kim, "Large-Scale Testing of Coupled Shear Wall Structures with Damping Devices," *Advances in Structural Engineering*, vol. 16, no. 11, pp. 1943–1955, Nov. 2013.
- [5] B. B. William, *Mechanics of solids: concepts and applications*. Irwin, 1993.
- [6] A. Öchsner, *Classical Beam Theories of Structural Mechanics*. Cham: Springer International Publishing, 2021.
- [7] T. Paulay, "The Coupling of Shear Walls," *PhD. Thesis, Dept. of Civ. Eng., University of Canterbury, New Zealand*, 1969.
- [8] T. Paulay and J.R. Binney, "Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls," *Symposium Paper*, vol. 42, pp. 579–598, Jan. 1974.
- [9] C. Pan and D. G. Weng, "Study on Seismic Performance of Coupled Shear Walls with Vertical Dampers," *AMR*, vol. 163–167, pp. 4185–4193, Dec. 2010.
- [10] Y. Li, T. Jin, S. Meng, H. Yu, and Y. Zhao, "Evaluation of seismic response of coupled wall structure with self-centering and viscous damping composite coupling beams," *Structures*, vol. 45, pp. 214–228, Nov. 2022.