

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN PHƯƠNG PHÁP AEM (APPLIED ELEMENT METHOD) ĐỂ PHÂN TÍCH ỨNG XỬ SỤP ĐỔ DÂY CHUYỀN CỦA KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA CÁC LOẠI TẢI TRỌNG BẤT THƯỜNG

Phạm Phú Anh Huy

1. Đặt vấn đề
2. Phương pháp AEM (Applied Element Method)
3. Các vấn đề đang nghiên cứu
4. Hướng nghiên cứu và dự kiến kết quả của bài toán

1. Đặt vấn đề

Nhà cao tầng hoặc các tòa nhà có tầm qua trọng cao thì việc đảm bảo cho tòa nhà vận hành an toàn không bị sụp đổ hoàn toàn là một yêu cầu cấp thiết. Bởi chính sự sụp đổ sẽ gây nên những tổn thất rất lớn cả về người và của.

Quá trình sụp đổ và sụp đổ dây chuyền được quan tâm từ sự sụp đổ của tòa nhà Ronan Point Apartment Building, London, Anh vào năm 1968, tiếp sau đó là hàng loạt các công trình sụp đổ do nhiều nguyên nhân khác nhau. Và đỉnh điểm là vụ khủng bố tòa tháp đôi WTC (World Trade Center) tại New York vào ngày 11 tháng 9 năm 2001 đã làm sụp đổ hoàn toàn công trình này gây thiệt hại lớn cả về người lẫn của cải.

Sau thảm họa này đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến quá trình sụp đổ dây chuyền của công trình từ cuối thập niên 70 và đầu thập niên 80. Trong đó tiêu chuẩn Anh đã giới thiệu phương pháp thiết kế chống lại các loại tải trọng bất thường này vào năm 1970, và cho đến năm 1975 tiêu chuẩn Canada đã đề xuất tính toán sự sụp đổ dây chuyền. Tổ chức GSA (Mỹ) đã công bố tài liệu hướng dẫn phân tích và thiết kế công trình chống lại sự sụp đổ dây chuyền vào năm 2000, tiếp sau đó là tổ chức DoD (Mỹ) ban hành tài liệu hướng dẫn thiết kế các tòa nhà chống lại sự sụp đổ dây chuyền vào năm 2005.

Tuy nhiên, ở Việt Nam các vấn đề này hoàn toàn mới mẻ. Việt Nam cũng chưa xảy ra những sự cố lớn về sụp đổ nhà cao tầng hoặc các công trình có tầm quan trọng cao, do vậy chưa có nhiều nghiên cứu về lĩnh vực này. Việt Nam cũng chưa có tiêu chuẩn hay bất cứ tài liệu nào hướng dẫn về vấn đề này. Vì vậy bài báo trình bày các vấn đề tổng quan về sụp đổ dây chuyền các tòa nhà để giúp độc giả các những khái niệm tiếp cận ban đầu, đồng thời nắm được các nguyên lý cơ bản mà các nước trên thế giới áp dụng mà cụ thể ở đây là theo hướng dẫn của tổ chức GSA và DoD của Hoa Kỳ. Các tính toán phân tích cụ thể sẽ được trình bày trong các bài báo tiếp theo.

Các thuật ngữ và định nghĩa:

Tổ chức GSA (General Services Administration) là tổ chức “Dịch vụ chính quyền công” của Hoa Kỳ. Tổ chức này được thành lập vào 1949 nhằm mục đích quản lý và hỗ trợ chính quyền liên bang về những mảng cơ bản về quản lý nhân viên làm việc cho chính quyền liên bang cũng như các mảng cơ bản của xã hội.

Tổ chức DoD (Department of Defense) là Bộ Quốc phòng của Hoa Kỳ, được thành lập vào năm 1949, là bộ phận hành pháp của chính phủ liên bang Hoa Kỳ, điều phối và giám sát tất

cả các cơ quan và chức năng của chính phủ liên bang. Bộ phận này liên quan trực tiếp đến an ninh quốc gia và các lực lượng vũ trang Hoa Kỳ.

UFC (Unified Facilities Criteria) là tiêu chuẩn xây dựng thống nhất, nó là một chương trình do Bộ Quốc phòng biên soạn nhằm cung cấp tài liệu hướng dẫn về việc lập kế hoạch, thiết kế, xây dựng, duy trì sự sống.. cho tất cả dự án của DoD và các dự án dân sự khác.

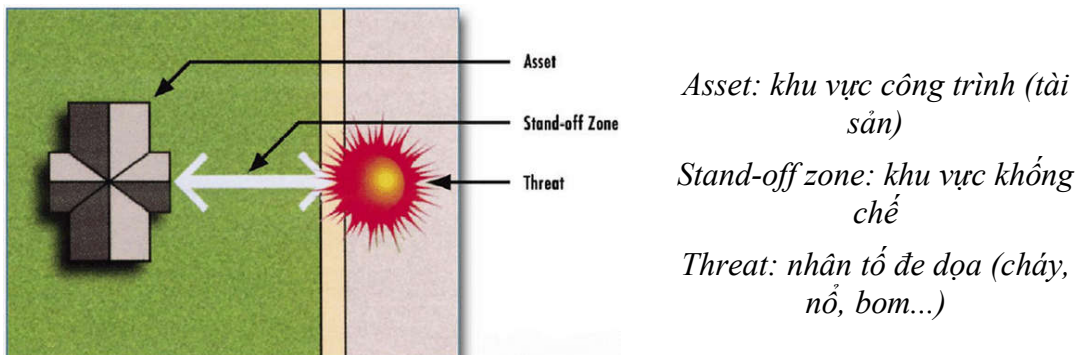
Tải trọng bất thường (Abnormal load) là loại tải trọng khác những tải trọng thông thường (như tĩnh tải, hoạt tải sử dụng, gió, động đất...) tác động lên kết cấu. Có thể phân loại các tải trọng bất thường như sau:

- Thay đổi lớn trong áp suất không khí như sự phá hoại do bom, nổ các hệ thống ga, khí đốt... Các vụ nổ khác trong toà nhà.
- Các tai nạn do va chạm: va chạm do các loại phương tiện, va chạm do các thiết bị xây dựng, va chạm do máy bay...
- Các lỗi do thiết kế và thi công: thiết kế lỗi, thi công lỗi, việc sử dụng sai mục đích của người sử dụng ngôi nhà
- Sự hư hỏng nền móng: tải trọng sử dụng không mong đợi, sự hư hỏng của tường tầng hầm, xói lở, lũ lụt ảnh hưởng đến móng, các hồ móng đào lân cận...

Sụp đổ (Collapse) là một trạng thái cực hạn của kết cấu dưới tác dụng của các loại tải trọng đặc biệt như động đất, cháy, nổ, bom, các phương tiện va chạm vào kết cấu, lỗi về thiết kế hay thi công kết cấu... Sự sụp đổ bắt đầu từ một phần yếu nhất của kết cấu sau đó lan rộng ra thành những sụp đổ cục bộ.

Quá trình sụp đổ dây chuyền (Progressive collapse) được định nghĩa là sự lan rộng quá trình sụp đổ cục bộ từ phần tử này đến phần tử khác, dẫn đến sụp đổ toàn bộ công trình.

Khoảng cách không chế (Standoff Distance): được định nghĩa là khoảng cách gần nhất giữa công trình và chu vi của khu vực gây ra nguy hiểm



Hình 1: Khoảng cách không chế

Cấp bảo vệ cao (High Level Protection): hư hỏng nhỏ, có thể sửa chữa được. Công trình hoặc vùng bảo vệ có thể bị hư hỏng nhỏ tổng thể, cho phép có thể hư hỏng lớn cục bộ. Người trong toàn nhà có thể bị thương nhẹ, nhưng nhìn tổng thể thiệt hại nhỏ.

Cấp bảo vệ trung bình (Medium Level Protection): hư hỏng vừa phải, có thể sửa chữa được. Công trình và khu vực bảo vệ sẽ có thể tồn tại mức độ hư hỏng lớn, nhưng đảm bảo

kết cấu vẫn có thể sử dụng được. Thương vong sẽ xảy ra và tài sản bị hư hỏng. Các bộ phận chịu lực chính của công trình cần được thay thế, sửa chữa. Có một số bộ phận chịu lực của công trình không thể sửa chữa được, cần phá dỡ và thay thế kết cấu mới.

Cấp bảo vệ thấp (Low Level Protection): hư hỏng lớn. Công trình hoặc vùng bảo vệ có thể xuất hiện các hư hỏng lớn nhưng không được sụp đổ dây chuyền. Thương vong có thể xảy ra và tài sản có thể bị hư hỏng, tuy nhiên kết cấu công trình có thể sửa chữa hoặc thay thế được.

Hệ thống kết cấu có bề mặt khó gãy, vỡ (A Non-Frangible Facade System): được đánh giá bởi khả năng chịu uốn tĩnh lớn hơn hoặc bằng 1,0Psi (0,00689N/mm²) dựa trên tải trọng phân bố đều tác động hướng vào trong vật thể.

Hệ thống kết cấu có bề mặt dễ gãy, vỡ (A Non-Frangible Facade System): được đánh giá bởi khả năng chịu uốn tĩnh bé thua 1,0psi (0,00689N/mm²) dựa trên tải trọng phân bố đều tác động hướng vào trong vật thể.

3. Các công trình sụp đổ dây chuyền điển hình trên thế giới

Toà nhà Ronan Point Apartement Building, London, Anh sụp đổ vào năm 1968. Toà nhà có 22 tầng, được xây dựng bằng bê tông cốt thép lắp ghép. Toà nhà sụp đổ do một vụ nổ ga nhỏ ở tầng thứ 18 dẫn đến sụp đổ tường panel chịu lực, dẫn đến sụp đổ các sàn tầng trên, các sàn tầng trên sụp đổ đè các sàn tầng dưới sụp đổ theo hiệu ứng “domino”. Sau thảm họa này tiêu chuẩn Anh đã giới thiệu phương pháp thiết kế chống lại các loại tải trọng bất thường này. Và cho đến năm 1975 tiêu chuẩn Canada đã đề xuất tính toán sự sụp đổ dây chuyền.



Hình 2: Toà nhà Ronan Point Apartement Building, London, Anh sụp đổ vào năm 1968



Hình 3: Toà nhà Alfred P. Murrah, Oklahoma, Mỹ sụp đổ vào năm 1995

Toà nhà Alfred P. Murrah ở thành phố Oklahoma bị sụp đổ dây chuyền vào năm 1995 do một xe tải bom nổ tại tầng một. Chiếc xe tải bom nổ làm ba cột tầng 1 bị phá hoại, các cột này bị phá hoại dẫn đến dầm-sàn được ba cột này đỡ cũng sụp đổ theo. Các kết cấu còn lại không đủ sức để truyền tải trọng vì vậy dẫn đến sụp đổ dây chuyền toàn bộ công trình.

Toà nhà Sampoong Department Store, Hàn Quốc, bị sập đổ vào ngày 29 tháng 06 năm 1995. Toà nhà sập đổ đã gây thiệt hại tính mạng 500 người và bị sụp đổ hoàn toàn. Chủ toà nhà đã thay đổi cấu trúc nguyên thủy của mái toà nhà để thay vào đó là cầu thang và hệ thống điều hòa không khí. Kết cấu mái không được thiết kế để chịu tải trọng lớn như vậy do vậy bị sập đổ, kéo theo các sàn tầng dưới sập đổ theo, tạo thành hiệu ứng dây chuyền làm cả toàn nhà sụp đổ hoàn toàn.



Hình 3: Toà nhà Sampoong Department Store, Hàn Quốc sụp đổ vào năm 1995



Hình 4: Toà nhà tháp đôi WTC, Mỹ sụp đổ vào năm 2001

Toàn tháp đôi Word Trade Center, NewYork, Mỹ bị sụp đổ hoàn toàn vào ngày 11 tháng 9 năm 2001. Tòa nhà sụp đổ do máy bay đâm vào gây cháy, tuy nhiên quá trình sụp đổ lại có liên quan đến sự sụp đổ dây chuyền làm tòa nhà sụp đổ hoàn toàn.

Các phương pháp phân tích, tính toán sự sụp đổ dây chuyền.

Đã có nhiều đề xuất để ngăn chặn và giảm rủi ro cho các tòa nhà cao tầng tránh sụp đổ hoàn toàn. Có 3 cách tiếp cận chính là kiểm soát tình huống không để xảy ra các loại tải trọng đặc biệt, phương pháp thiết kế gián tiếp và trực tiếp.

Việc **kiểm soát tình huống để không xảy ra các loại tải trọng đặc biệt** hiện nay được các quốc gia tiến hành một cách rất chặt chẽ tuy nhiên cũng khó có thể kiểm soát hoàn toàn được, điển hình các vụ đánh bom, máy bay đâm vào các tòa nhà cao tầng trong thời gian gần đây. Hơn nữa, các kỹ sư thiết kế rất khó khăn để ước tính được độ lớn của các loại tải trọng bất thường này.

Ngoài ra có thể sử dụng các barie chặn xung quanh các cột trong các tầng hầm, tầng để xe để tránh các phương tiện va chạm. Sử dụng các “ống phòng nổ” để giảm áp suất trong các tòa nhà kín. Địa điểm xây dựng các tòa nhà cao tầng tránh những khu vực quá đông đúc.

“Khoảng cách không chế” (Standoff distance) cũng là một phương án có thể sử dụng trong trường hợp này. Theo GSA “khoảng các không chế” được xác định theo bảng 1.

Bảng 1: Khoảng cách không chế theo GSA

Loại kết cấu	Cấp bảo vệ yêu cầu					
	Thấp		Trung bình		Cao	
	(ft)	(m)	(ft)	(m)	(ft)	(m)
Bê tông cốt thép						
Khung cứng với bề mặt khó gãy, vỡ	25	7,62	40	12,2	130	36,58
Khung cứng với bề mặt dễ gãy, vỡ	25	7,62	35	10,67	100	30,48
Sàn phẳng với bề mặt khó gãy, vỡ	25	7,62	40	12,2	130	39,62
Sàn phẳng với bề mặt dễ gãy, vỡ	25	7,62	35	10,67	100	30,48
Kết cấu vách cứng	25	7,62	35	10,67	100	30,48
Kết cấu thép						
Khung cứng với bề mặt khó gãy, vỡ	25	7,62	40	12,2	130	39,62
Khung cứng với bề mặt dễ gãy, vỡ	25	7,62	35	10,67	100	30,48
Kết cấu thép nhẹ	55	16,76	105	32,00	165	50,29

Phương pháp thiết kế gián tiếp dựa trên các yêu cầu tối thiểu về mặt cường độ, tính liên tục và độ dẻo. Phương pháp này hướng đến việc thiết kế một kết cấu hoàn chỉnh mà không

quan tâm đến tải trọng bất thường. Phương pháp này liên quan đến việc thiết kế các liên kết liên tục bằng qua các nút và tăng thêm độ dẻo và sự dư thừa về khả năng chịu lực cho kết cấu. Một trong cách tiếp cận phổ biến cho phương pháp này được gọi là “lực bó chặt” (tie forces). Phương pháp này hướng tới việc thiết kế cho các cấu kiện với khả năng chịu kéo tương ứng để có thể chịu được biến dạng lớn sau khi hư hỏng. Đó là sự kết hợp chặt chẽ bởi một mạng lưới liên kết ngang và đứng thông qua các nút trong kết cấu

Phương pháp thiết kế trực tiếp dựa trên khả năng của kết cấu để tiếp nhận các hư hỏng cục bộ nhưng không được phá hủy toàn bộ.

Phương pháp tiếp cận này người thiết kế phải hướng đến sự sụp đổ dẻo chuyên. Người thiết kế hoặc phải kể đến các tải trọng bất thường trong thiết kế hoặc giả sử một vài bộ phận hư hỏng cục bộ. Có 2 cách tiếp cận đó là phương pháp đường truyền thay thế (Alternate Path Method) và phương pháp ngăn chặn hư hỏng cục bộ (Specific Local Resistance Method)

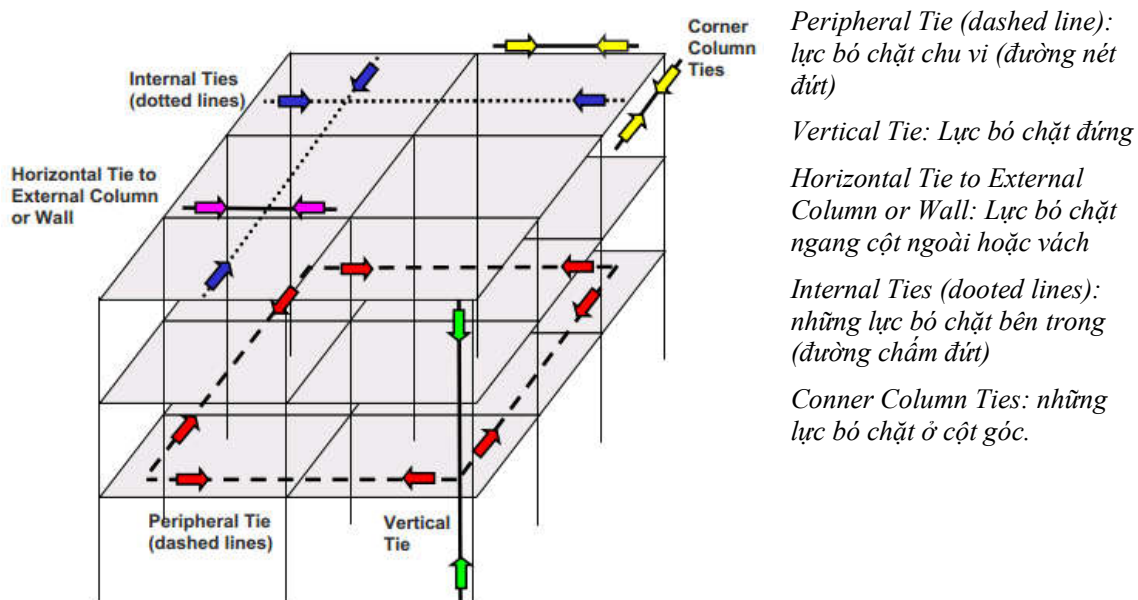
Phương pháp “lực bó chặt” (tie force):

Cách tiếp cận của phương pháp này là toàn nhà được bó chặt cơ học với nhau, nâng cao được tính liên tục, độ dẻo và phát triển được các đường truyền tải trọng thay thế. Lực bó chặt này được sinh ra bởi các cấu kiện và các nút liên kết tồn tại trên kết cấu để có thể chịu được mọi loại tải trọng bất thường sinh ra trên kết cấu.

Những điều khoản trong tiêu chuẩn các nước quan tâm đến lực bó chặt cho kết cấu bê tông cốt thép lắp ghép và tính liên tục của cốt thép cho kết cấu bê tông cốt thép toàn khối để mà mỗi phần tử trên công trình có thể tạo ra một sự “chống lại tối thiểu” để có thể tồn tại mà không bị phá hoại khi tải trọng bất thường xảy ra.

Phụ thuộc vào kết cấu bên trên, có một số “lực bó chặt theo phương đứng” được sử dụng như lực bó chặt bên trong, chu vi, các cột biên, cột góc và tường. “Lực bó chặt theo phương ngang” được yêu cầu trong cột và tường chịu lực.

Đường truyền tải trọng cho lực bó chặt chu vi phải được liên tục quanh mặt bằng nhà và lực bó chặt bên trong thì đường truyền tải của nó cũng phải được liên tục từ cột biên cho đến các cột giữa.



Hình 5: Lực bó chặt

Theo phương pháp này yêu cầu:

Cường độ bó chặt thiết kế $=\phi R_n \geq$ Cường độ bó chặt yêu cầu

Trong đó ϕ là hệ số giảm cường độ

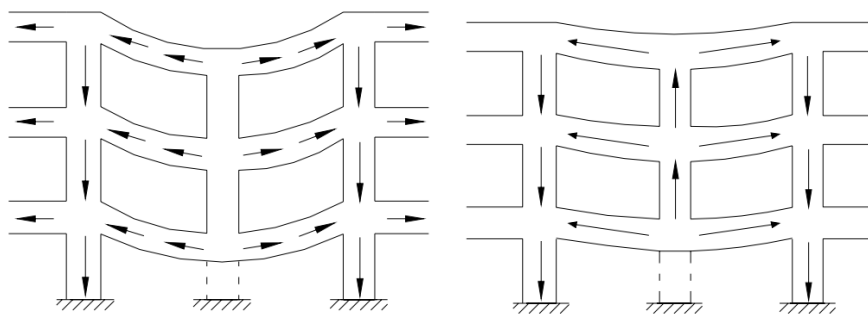
R_n : Cường độ bó chặt danh nghĩa, được tính toán với tiêu chuẩn đặc biệt về vật liệu, bao gồm cả hệ số vượt cường độ Ω

Phương pháp đường truyền thay thế: trong phương pháp này các phần tử nguy hiểm được giả sử hư hỏng và được loại bỏ ra khỏi kết cấu trước khi phân tích. Tải trọng trên phần tử này được phân phối cho các phần tử lân cận, quá trình phân tích này cứ tiếp tục nếu tiếp tục có thêm một phần tử hư hỏng và bị loại bỏ ra khỏi kết cấu. Đường truyền thay thế này được xem xét tính toán sao cho không xảy ra quá trình sụp đổ dây chuyền, và sẽ không thực tế khi xem rằng sẽ ngăn chặn được tất cả các phần tử trong tòa nhà không phá hoại dưới tác dụng của các loại tải trọng không mong đợi.

Phương pháp đường truyền thay thế có thể được sử dụng trong hai tình huống sau:

- 1) Khi các phần tử đứng không thể cung cấp cường độ bó chặt yêu cầu, người thiết kế có thể sử dụng phương pháp đường truyền thay thế để tính toán sao cho kết cấu có thể vượt qua tình trạng thiếu phần tử sau khi nó bị mất đi một số phần tử được phỏng đoán trước
- 2) Kết cấu được yêu cầu bảo vệ ở cấp độ trung bình và cao.

Xét ví dụ như hình... sàn sẽ võng xuống khi mà cột bị mất đi. Nhịp bản ngang qua vị trí cột bị mất đi sẽ có biến dạng lớn (catenary action). Nếu có một số sàn bên trên cũng bị mất cột như hình... tải trọng trên sàn có thể truyền lên cho các sàn trên thông qua cột chịu kéo, và điều này sẽ giúp kết cấu truyền tải cho các phần tử lân cận không bị hư hỏng



Hình 6: Mô tả đường truyền thay thế

Theo phương pháp này yêu cầu:

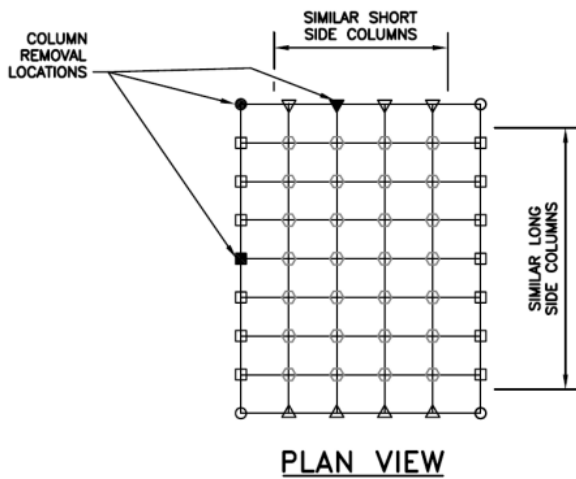
Cường độ thiết kế $=\phi R_n \geq$ Cường độ yêu cầu

Trong đó ϕ là hệ số giảm cường độ

R_n : Cường độ danh nghĩa, được tính toán với tiêu chuẩn đặc biệt về vật liệu, bao gồm cả hệ số vượt cường độ Ω

Đối với kết cấu có yêu cầu an toàn trung bình và cao. Việc loại bỏ cột để phân tích ứng xử của kết cấu được thực hiện như sau

Loại bỏ cột ngoài: việc bỏ đi cột ngoài theo kịch bản sẽ chọn những cột ngoài gần giữa cạnh ngắn của ngôi nhà, gần giữa cạnh dài của mặt bằng ngôi nhà và các cột ở góc của ngôi nhà như hình vẽ 7. Cũng có thể loại bỏ những cột ở vị trí có sự thay đổi lớn về kích thước hình học của kết cấu như là nơi có sự thay đổi kích thước nhịp... Các kỹ sư kết cấu có thể dùng kiến thức cơ học để nhận ra được các vị trí này.



*Column removal locations:
những vị trí loại bỏ cột*

*Similar short side columns:
những cột tương tự theo
phương cạnh ngắn*

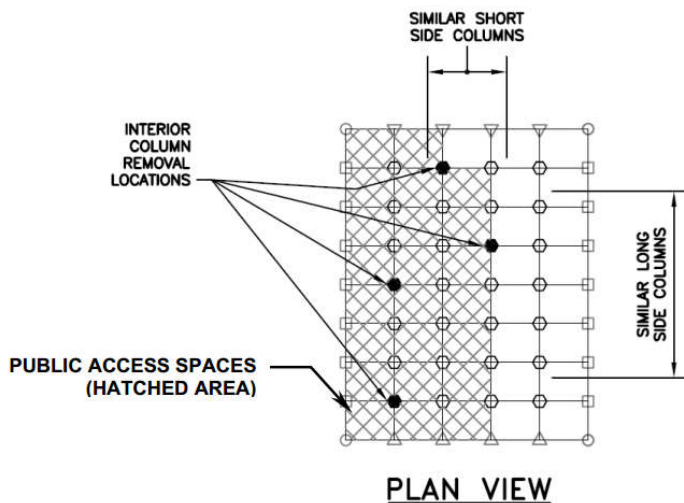
*Similar long side columns:
những cột tương tự theo
phương cạnh dài*

Plan view: mặt bằng

Hình 7: Hướng dẫn loại bỏ cột ngoài theo UFC

Loại bỏ cột trong: với những tòa nhà có gara ở tầng hầm hoặc các khu vực công cộng ở tầng hầm nhưng không kiểm soát được thì ta sẽ loại bỏ cột giữa ở gần giữa cạnh ngắn, gần giữa cạnh dài của mặt bằng ngôi nhà hoặc ở góc của khu vực không kiểm soát được.

Việc loại bỏ này được thực hiện từ sàn tầng hầm nơi có gara để xe hoặc nơi công cộng không kiểm soát được tới sàn tiếp theo (có nghĩa một tầng phải được loại bỏ). Cũng có thể loại bỏ một số cột giữa khác trong vùng không kiểm soát được theo đáng giá về cơ học của kỹ sư. Với mỗi vị trí trên mặt bằng, phân tích đường truyền thay thế chỉ thực hiện cho cột tầng hầm hoặc sàn tầng để xe



*Public access spaces (hatched area):
khu vực phương tiện
công cộng đến gần (vùng gạch chéo)*

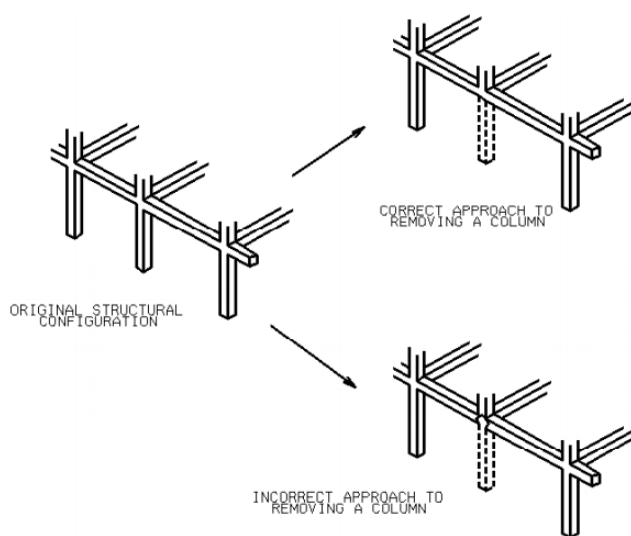
*Interior column removal locations:
những vị trí loại bỏ
cột trong*

*Similar short side columns:
những cột tương tự theo
phương cạnh ngắn*

*Similar long side columns:
những cột tương tự theo
phương cạnh dài*

Plan view: mặt bằng

Hình 8: Hướng dẫn loại bỏ cột trong theo UFC



Original structural configuration: Hình dạng kết cấu ban đầu

Correct approach to removing a column: cách tiếp cận đúng để loại bỏ cột

Incorrect approach to removing a column: cách tiếp cận sai để loại bỏ cột

Hình 9: Hướng dẫn loại bỏ cột ngoài theo UFC

Với phân tích tĩnh tuyến tính hoặc phi tuyến thì theo UFC quy định tải trọng dùng để phân tích là:

$$2,0[(0,9 \text{ hoặc } 1,2)D] + (0,5L \text{ hoặc } 0,2S) + 0,2W$$

Với phân tích động phi tuyến thì theo UFC quy định tải trọng:

$$(0,9 \text{ hoặc } 1,2)D + (0,5L \text{ hoặc } 0,2S) + 0,2W$$

Trong đó: D: tĩnh tải; L: hoạt tải; S: tải trọng tuyết; W: tải trọng gió

Phương pháp ngăn chặn hư hỏng cục bộ: cách tiếp cận của phương pháp này là ngăn chặn sự hư hỏng của các phần tử chịu lực chính dưới tác dụng của tải trọng bất thường để ngăn chặn sự sụp đổ toàn bộ. Để ngăn chặn sự phá hoại của các phần tử chịu lực chính thì người thiết kế phải thiết kế đảm bảo cho các phần tử này dư thừa về khả năng chịu lực. Có thể tham khảo tiêu chuẩn Anh để đưa vào tải trọng bất thường dựa trên tính toán xác suất:

$$\text{Tải trọng} = (0,9 \text{ hoặc } 1,2)D + A_k + 0,5L + 0,2W$$

A_k : tải trọng bất thường do nổ, các phương tiện va chạm...

Một cách để ngăn chặn hư hỏng cục bộ có thể dùng đó là sử dụng các sợi thủy tinh hoặc sợi polyme để gia cố cho cột, dầm và sàn để tăng cường khả năng chịu tải cho các kết cấu này

2. Phương pháp AEM (Applied Element Method)

Phương pháp phần tử ứng dụng (Applied Element Method - AEM) là một phương pháp số được sử dụng để phân tích các kết cấu liên tục và không liên tục. Mô hình trong phương pháp phần tử ứng dụng (gọi tắt là AEM) cho phép nghiên cứu từ giai đoạn kết cấu bắt đầu chịu lực cho đến khi kết cấu phá hủy hoàn toàn thông qua tất cả các giai đoạn như: giai đoạn đàn hồi, giai đoạn xuất hiện vết nứt, giai đoạn lan truyền vết nứt trong vùng kéo của bê tông, giai đoạn chảy dẻo của thép, giai đoạn ăn mòn...

Phương pháp AEM được đặt nền móng nghiên cứu từ năm 1995 của tiến sĩ Haterm Tagel Din Đại học Tokyo – Nhật Bản. Nhưng cho tới năm 2000 bài báo đầu tiên “Applied element method for structural analysis – Theory and application for linear material” mới được công bố, và từ đó cho đến nay cũng đã có nhiều nghiên cứu trên toàn thế giới để phát triển phương pháp này.

Các nghiên cứu đã chỉ ra được độ chính xác tính toán của phương pháp AEM trong phân tích đàn hồi, trong giai đoạn nứt và vết nứt lan truyền và phát triển, dự tính tải trọng phá hoại, phân tích sự làm việc của kết cấu dưới tác dụng của tải trọng lặp, ứng xử trước và sau khi mất ổn định, có khả năng phân tích phi tuyến động cho kết cấu chịu các loại tải trọng đặc biệt như động đất, cháy, nổ....

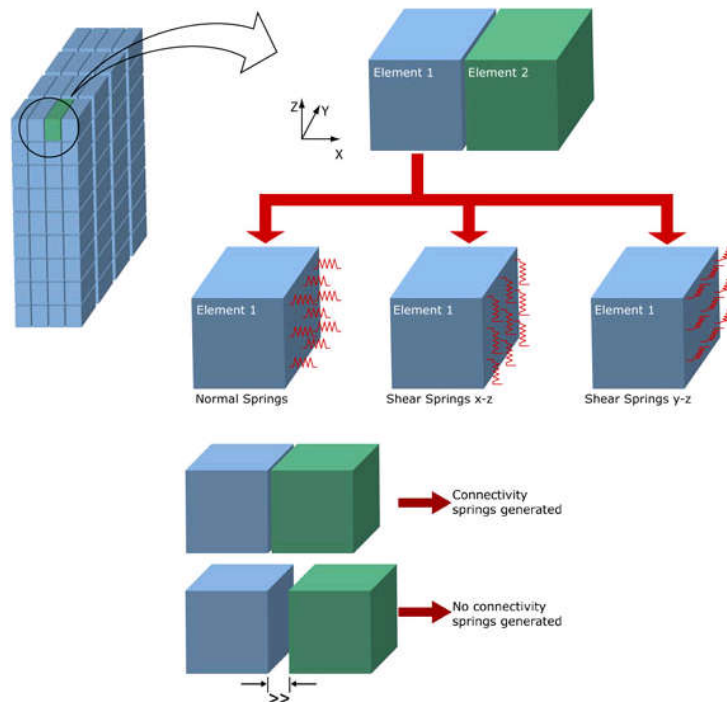
Cách chia phần tử trong phương pháp AEM

Mô hình của bất kỳ đối tượng nào trong AEM thì cũng tương tự như trong phương pháp phần tử hữu hạn. Đối tượng chia thành nhiều phần tử liên kết với nhau. Vấn đề khác nhau chính của 2 phương pháp đó là việc liên kết các phần tử.

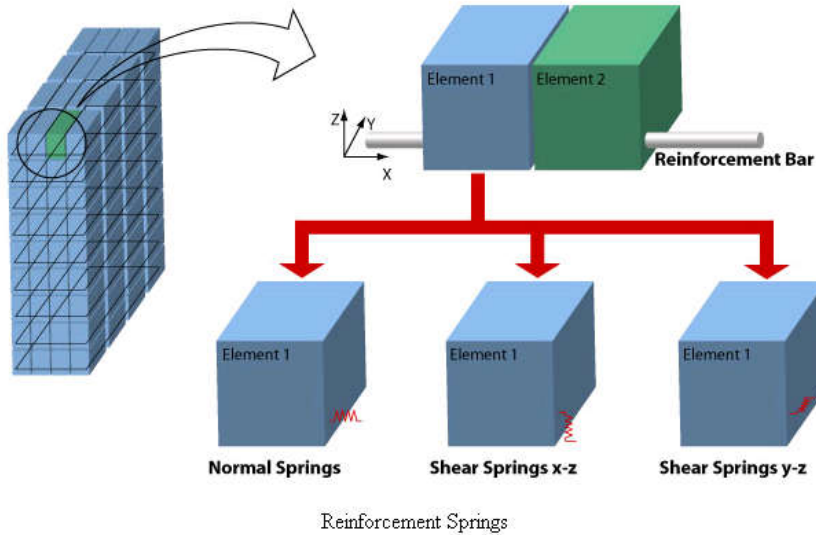
Trong AEM, các mô hình kết cấu liên tục được chia thành nhiều phần tử liên kết với nhau thông qua các liên kết lò xo phi tuyến, các lò xo này đại diện được các ứng xử của vật liệu. Mô hình trong AEM có khả năng mô phỏng chính xác ứng xử của kết cấu bê tông cốt thép và thép.

Bởi vì các liên kết lò xo đại diện được cả biến dạng nén và cắt, một số loại liên kết lò xo được sử dụng để tạo ra ứng xử tổng thể của mô hình kết cấu như: lò xo ma trận, lò xo thể hiện thép thanh trong bê tông, lò xo liên kết

Lò xo ma trận: là những lò xo liên kết 2 phần tử lân cận nhau và thể hiện cho vật liệu chính của kết cấu. Ví dụ khi chúng ta phân tích kết cấu bê tông cốt thép, những lò xo này đại diện cho phần bê tông nhưng khi chúng ta phân tích kết cấu thép những lò xo này đại diện cho lò xo thép



Lò xo thể hiện thép trong bê tông: là tất cả các lỗ xo đại diện cho thép như hình vẽ. Lò xo này có thuộc tính vật liệu, vị trí, và kích thước của thanh thép. Tương tự như lò xo ma trận, 3 lò xo được đặt nơi giao nhau giữa thanh thép và phần tử biên, lò xo pháp tuyến được lấy theo hướng của thanh thép

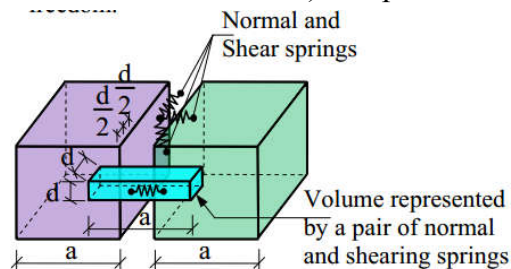


Lò xo liên kết: trong các trường hợp ăn mòn hoặc kết nối 2 phần tử có cùng thuộc tính, 3 lò xo trong đó 1 lò xo pháp và 2 lò xo tiếp để giải quyết vấn đề này. 3 lò xo này thêm vào tại mỗi điểm liên kết.

So sánh khả năng tính toán của 2 phương pháp: phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) và phương pháp phần tử ứng dụng (AEM)

So sánh giữa phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) và phương pháp phần tử áp dụng (AEM)

Phương pháp phần tử hữu hạn	Phương pháp phần tử áp dụng
- Dựa trên cơ học môi trường liên tục để phân tích số các vấn đề khác nhau	- Có thể áp dụng cho cả phần tử liên tục cũng như phần tử không liên tục
- Mặt phẳng thẳng và giả định thường được sử dụng để rời rạc hóa kết cấu	- Kết cấu được tính toán như là sự ghép nối của các phần tử nhỏ
- Các phần tử liên kết nhau bởi các nút	- Các phần tử được liên kết nhau dọc theo bề mặt
- Các nút được sử dụng để liên kết 1 phần tử	- Liên kết lò xo được sử dụng để liên kết các phần tử trên bề mặt
- Nhiều loại phần tử hữu hạn dùng để tạo thành kết cấu	- Phần tử khối là phần tử duy nhất để tạo thành kết cấu
- Số bậc tự do của mô hình phụ thuộc vào loại phần tử hữu hạn được sử dụng trong mô hình	- 2 phần tử được liên kết với nhau thông qua một dãy điểm liên kết. Tại mỗi điểm liên kết có 3 liên kết lò xo (một liên kết lò xo chịu M, 2 liên kết lò xo chịu cắt) cho phần tử 3 chiều.



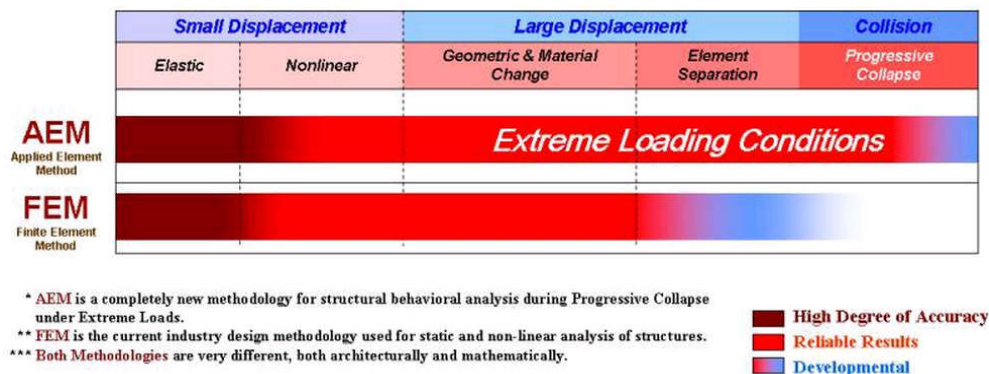
<p>- Phần tử chuyển tiếp cần được chuyển từ phần tử có kích thước lớn sang phần tử có kích thước bé như phần tử liên kết các nút với nhau</p>	<p>- Không cần phần tử chuyển tiếp</p>
<p>- Ma trận độ cứng tổng thể $[K]$ được tính toán dựa trên sự đóng góp của mỗi phần tử</p>	<p>- Ma trận độ cứng tổng thể $[K]$ được tính là tổng đóng góp của các liên kết lò xo.</p>

Theo website <http://www.applielementmethod.org> những thuận lợi khi sử dụng phương pháp AEM:

	FEM	AEM
Thời gian cần thiết để máy tính xử lý	Nhanh	Nhanh
Bậc tự do	16 cho mỗi phần tử	6 cho mỗi phần tử
Mô hình phá hủy	Sự phát triển vết nứt, vết nứt vật lý (vết nứt bề mặt, các vết nứt này phải được dự đoán trước)	Sự phát triển vết nứt, và tự động vết nứt vật lý
	Phần tử nút (phần tử bề mặt) cần nơi vết nứt rộng để mô phỏng vật lý	Không cần phần tử nút
	Vết nứt không được mở rộng từ phần tử này đến phần tử khác, làm kết cấu không thể tách rời ở vị trí bất kỳ	Vết nứt truyền dễ dàng ở phần tử biên theo hướng bất kỳ
	Vị trí nút trên bề mặt phần tử phải được định nghĩa trước khi phân tích	Không cần cho phần tử nút

	Sự lan truyền vết nứt không thể dự đoán chính xác trong vùng vết nứt phá triển	Tất cả hướng phát triển vết nứt có thể dự đoán được
Thời gian xử lý	Dài	Ngắn
Chi tiết vật liệu bê tông	Rất khó khăn khi tính toán chính xác các thuộc tính của thép	Tất cả các thông tin của thép được tính toán dễ dàng. Ví dụ: diện tích, lớp bê tông bảo vệ... có thể được đem vào tính toán dễ dàng
Trước khi phá hoại	Độ chính xác cao	Độ chính xác cao
Trong và sau khi phá hoại	Không thể thực hiện	Độ chính xác cao

Structural Design & Analysis Methodology Comparison

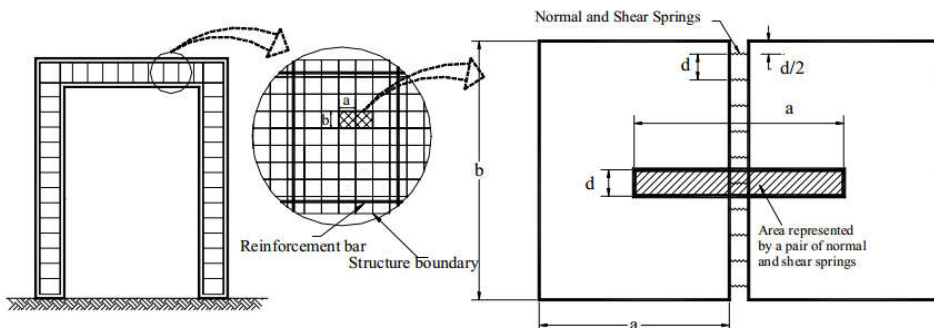


Cơ sở lý thuyết của phương pháp AEM

Trong phương pháp AEM, kết cấu được mô hình thành các phần tử hình chữ nhật nhỏ. Hai phần tử lân cận nhau được liên kết bởi 1 cặp liên kết lò xo, gọi là liên kết lò xo pháp tuyến và liên kết lò xo tiếp tuyến. Ứng suất và biến dạng của mỗi cặp liên kết lò xo này đại diện cho cả phần tử hình chữ nhật.

Công thức xác định độ cứng của lò xo:

- Đối với lò xo pháp tuyến: $K_n = \frac{EdT}{a}$
- Đối với lò xo tiếp tuyến: $K_s = \frac{GdT}{a}$



(a) Element generation for AEM

(b) Spring distribution and area of influence of each pair of springs

Hình: Rời rạc hóa kết cấu trong phương pháp AEM

d: khoảng cách giữa 2 cặp lò xo liên kế

T: bề dày của phần tử

a: chiều dài của vùng diện tích đại diện (chiều dài của phần tử hình chữ nhật)

E,G: là môđun đàn hồi và môđun chống cắt của vật liệu

Ta có phương trình quan hệ: $[K_G][\Delta] = [F]$

$[K_G]$: ma trận độ cứng tổng thể

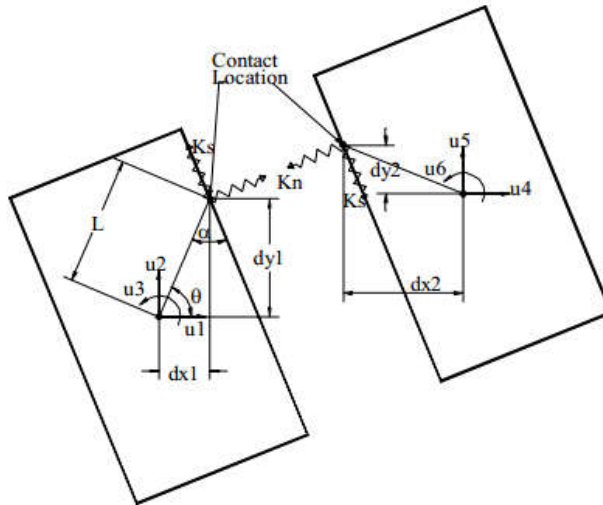
$[\Delta]$: véc-tơ chuyển vị

$[F]$: véc-tơ tải trọng tác dụng

Ma trận độ cứng tổng thể được xây dựng dựa trên sự đóng góp của tất cả các liên kết lò xo.

Ma trận độ cứng của một cặp liên kết lò xo là 6x6

$$\begin{bmatrix} \sin^2(\theta + \alpha)K_n & -K_n \sin(\theta + \alpha)\cos(\theta + \alpha) & \cos(\theta + \alpha)K_s L \sin(\alpha) \\ + \cos^2(\theta + \alpha)K_s & + K_s \sin(\theta + \alpha)\cos(\theta + \alpha) & -\sin(\theta + \alpha)K_n L \cos(\alpha) \\ -K_n \sin(\theta + \alpha)\cos(\theta + \alpha) & \sin^2(\theta + \alpha)K_s & \cos(\theta + \alpha)K_n L \cos(\alpha) \\ + K_s \sin(\theta + \alpha)\cos(\theta + \alpha) & + \cos^2(\theta + \alpha)K_n & + \sin(\theta + \alpha)K_s L \sin(\alpha) \\ \cos(\theta + \alpha)K_s L \sin(\alpha) & \cos(\theta + \alpha)K_n L \cos(\alpha) & L^2 \cos^2(\alpha)K_n \\ -\sin(\theta + \alpha)K_n L \cos(\alpha) & + \sin(\theta + \alpha)K_s L \sin(\alpha) & + L^2 \sin^2(\alpha)K_s \end{bmatrix}$$



Hình: Liên kết xò lò

Với biến dạng bé: phương trình động

$$[M][\Delta\ddot{U}] + [C][\Delta\dot{U}] + [K][\Delta U] = \Delta f(t) - [M][\Delta\ddot{U}_G] \quad (2)$$

$[M]$: ma trận khối lượng

$[C]$: ma trận cản nhớt

$[K]$: ma trận độ cứng phi tuyến

$\Delta f(t)$: vectơ gia số của tải trọng

$[\Delta U]$: Vectơ gia số của chuyển vị

$[\Delta\dot{U}], [\Delta\ddot{U}], [\Delta\ddot{U}_G]$: vectơ gia số vận tốc, gia tốc và gia tốc trọng trường.

Giải phương trình (2) bằng phương pháp số, sử dụng phương pháp Newmark Beta

To simplify the dynamic problem and to reduce the size required for definition of mass matrix, the element mass and inertial are assumed lumped at the element centroid. The mass matrix corresponding to an element, in case of square shaped element is:

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D^2 * t * \rho \\ D^2 * t * \rho \\ D^4 * t * \rho / 6.0 \end{bmatrix}$$

D is the element size

t: the element thickness

ρ : the density of the material considered.

$[M_1]$, $[M_2]$: are corresponding to the element mass

$[M_3]$: are corresponding to the element moment of inertia around the centroid.

Với biến dạng lớn

$$\text{Phân tích tĩnh với biến dạng lớn: } K\Delta U = \Delta f + R_m + R_G \quad (3)$$

K: Ma trận độ cứng phi tuyến

ΔU : vectơ gia số chuyển vị.

Δf : vectơ gia số tải trọng.

R_m : vectơ lực dư do vết nứt hoặc sự không tương thích giữa biến dạng và ứng suất trong lò xo.

R_G : vectơ lực dư do sự thay đổi hình học trong kết cấu trong suốt quá trình chịu tải

3. Các vấn đề đang nghiên cứu

- Nghiên cứu ứng xử động phi tuyến khung phẳng bê tông cốt thép có xét đến biến dạng lớn bị sụp đổ dây chuyền dưới tác dụng của tải trọng bất thường
- Nghiên cứu ứng xử động phi tuyến khung phẳng bị sụp đổ dây chuyền dưới tác dụng của tải trọng bất thường bằng phương pháp AEM.

4. Hướng nghiên cứu và dự kiến kết quả của bài toán

Sẽ được trình bày cụ thể trong các bài viết tiếp theo

Tài liệu tham khảo

- [1] ACI, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318-02/318R-02, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002.
- [2] AISC, LRFD Manual of Steel Construction, American Institute of Steel Construction, USA, 3rd Edition, 2001.
- [3] ASCE, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-95, American Society of Civil Engineers, New York, 1996.
- [4] Department of Defense (DoD). (2004). “Design of Buildings to Resist Progressive Collapse.” Unified Facilities Criteria (UFC) 4-023-03, July 2004.
- [5] Department of Defense (DoD). (2009). “Design of Buildings to Resist Progressive Collapse.” Unified Facilities Criteria (UFC) 4-023-03, July 2009.
- [6] General Services Administration (GSA). (2003). “Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines.” General Services Administration, June 2003
- [7] Kaewkulchai, G. and Williamson, E.B., 2002, “Dynamic Progressive Collapse of Frame Structures,” The 15th Engineering Mechanics Division Conference, ASCE, New York.