

# PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ KHÁNG CHẤN DỰA THEO TÍNH NĂNG CHO NHÀ CAO TẦNG

**TS. Nguyễn Hồng Hà, ThS. Nguyễn Hồng Hải**

Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng

**ThS. Vũ Xuân Thương**

Công ty Cổ phần Giải pháp và công nghệ Xây dựng SF

**Tóm tắt:** Thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng đang được coi là xu hướng mới của thiết kế kháng chấn. Phương pháp thiết kế này ngày càng được chấp nhận rộng rãi, là một lựa chọn thay thế đặc biệt thích hợp đối với những công trình có kết cấu phức tạp như nhà cao tầng và siêu cao tầng nằm ngoài giới hạn áp dụng của tiêu chuẩn thiết kế hiện hành. Bài báo trình bày một số nội dung cơ bản của phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng, đồng thời tiến hành một số so sánh đơn giản so với phương pháp thiết kế kháng chấn hiện hành để thấy được ưu, nhược điểm của phương pháp mới.

**Abstract:** The performance based seismic design is being considered a new trend of seismic-resistant design. The method is becoming a more widely accepted alternative to prescriptive design codes, especially for buildings with complex structures such as super-tall buildings that are beyond application of current standards. This paper presents basic issues of seismic-resistant design method utilizing the performance based seismic design. Some comparisons are also provided showing the advantages and disadvantages of the new approach compared to current design methods.

## 1. Đặt vấn đề

Thiệt hại trong các trận động đất lớn vào thập niên 90 của thế kỷ trước (Northridge - Mỹ, 1994; Kobe - Nhật Bản, 1995; Chichi - Đài Loan, 1999) cho thấy nếu kết cấu công trình được thiết kế theo phương pháp kháng chấn hiện hành thì xác suất gây ra sụp đổ là rất nhỏ, số lượng thương vong do động đất gây ra cũng không nhiều, tuy nhiên thiệt hại về kinh tế do động đất gây ra lại quá lớn. Thống kê về thiệt hại do động đất ở Mỹ trong giai đoạn từ 1988~1997 nhiều hơn 20 lần so với tổng thiệt hại của 30 năm trước [7], trong đó thiệt hại gián tiếp do công trình không thể tiếp tục vận hành bình thường chiếm một tỷ lệ không nhỏ.

Đối với nhà cao tầng, việc áp dụng các tiêu chuẩn hiện hành như UBC [1], IBC [2], Eurocode 8 [3] trong thiết kế kháng chấn còn hạn chế [11,13], trong đó việc sử dụng duy nhất một tiêu chí độ lệch tầng (story drift) để đánh giá mức độ hư hỏng là chưa đầy đủ. Mặt khác, dùng phương pháp phân tích đàn hồi đi đôi với việc sử dụng một hệ số giảm (hệ số R trong UBC, IBC; hệ số ứng xử q trong Eurocode 8) áp dụng cho toàn hệ kết cấu tổng thể là khó có thể phản ánh một cách đáng tin cậy ứng xử của công trình trong giai đoạn đàn hồi dẻo, đặc biệt là đối với hệ kết cấu gồm nhiều dạng (khung lẫn vách) hoặc sử dụng vật liệu khác nhau (bê tông lẫn thép). Hơn nữa, bên cạnh việc đưa ra các hạn chế như chiều cao hay tính đều đặn, các tiêu chuẩn nói trên không có điều khoản thích hợp cho nhiều dạng kết cấu (ví dụ kết cấu có tầng cứng) hoặc áp dụng các giải pháp kỹ thuật tiên tiến (ví dụ damping). Việc này gây khó khăn cho công tác thiết kế các công trình siêu cao, kết cấu đặc biệt hoặc áp dụng kỹ thuật, công nghệ mới.

Từ những năm 90 của thế kỷ trước, các học giả ở Mỹ đã đề xuất phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng (Performance based seismic design, viết tắt là PBSĐ) với mục tiêu là dự báo một cách đáng tin cậy ứng xử của công trình dưới tác động động đất với các mức độ khác nhau trong suốt vòng đời sử dụng. Ở giai đoạn ban đầu, phương pháp này chủ yếu áp dụng cho việc sửa chữa công trình cũ [5,6,7,8,9]. Tuy nhiên, gần đây phương pháp này đã được áp dụng trong thiết kế công trình mới và đã có chỉ dẫn áp dụng đối với nhà cao tầng [10,11,12]. Hiện tại đã có khá nhiều nhà siêu cao được áp dụng phương pháp này trong quá trình thiết kế [14,15,16].

Có nhiều vấn đề liên quan đến PBSĐ, bao gồm việc xác định mục tiêu tính năng của công trình, qui trình lựa chọn giản đồ gia tốc biểu thị chuyển vị nền, phương pháp phân tích, mô hình hóa trong phân tích phi tuyến để mô phỏng một cách tin cậy ứng xử của kết cấu, tiêu chí đánh giá kết quả tính toán. Trong khuôn khổ của bài viết, chúng tôi chỉ trình bày một số nội dung cơ bản của phương pháp này.

## 2. Phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng

Phương pháp thiết kế kháng chấn theo tính năng được bắt đầu với các thảo luận giữa chủ đầu tư và tư vấn về các mục tiêu tính năng (performance objective) phù hợp mà công trình tương lai cần có. Sau đó, tư vấn vận dụng năng lực thiết kế nhằm đảm bảo công trình đạt được các mục tiêu tính năng đã xác định. Mục tiêu tính năng được biểu thị bởi mức độ hư hỏng chấp nhận được của công trình, gọi là mức tính năng (building performance level), dưới tác động của một trận động đất có độ lớn xác định trước, gọi là mức nguy cơ động đất (seismic hazard level).

Mức nguy cơ động đất, mức tính năng công trình và mục tiêu tính năng của công trình được trình bày ở các mục dưới đây.

### 2.1. Mức nguy cơ động đất

Mức nguy cơ động đất cũng đã được đề cập trong các tiêu chuẩn hiện hành ở Mỹ, Nhật, Trung Quốc, theo đó mức nguy cơ động đất được phân làm 3 mức: động đất nhỏ (minor earthquake), động đất mạnh (rare earthquake) và động đất rất mạnh (very rare earthquake) [11]. Tiêu chuẩn Eurocode 8 [3] định nghĩa 2 mức nguy cơ động đất ứng với yêu cầu không sụp đổ và yêu cầu hạn chế hư hỏng lần lượt là 10% trong 50 năm (chu kỳ lặp là 475 năm) và 10% trong 10 năm (chu kỳ lặp là 95 năm).

Đối với thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng, để thực hiện mục tiêu khống chế mức độ hư hỏng của công trình đối với các mức nguy cơ động đất khác nhau, ASCE 41 [9] và SEAOC Vision 2000 [4] tăng thêm một mức nguy cơ động đất, thể hiện trong bảng sau:

**Bảng 1. Các cấp nguy cơ động đất của Mỹ**

Mức nguy cơ động đất	Theo FEMA		Theo SEAOC	
	Xác suất vượt trong 50 năm	Chu kỳ lặp	Xác suất vượt	Chu kỳ lặp
Động đất nhỏ (frequent earthquake)	50	72	50% trong 30 năm	43
Động đất vừa (occasional earthquake)	20	225	50% trong 50 năm	72
Động đất mạnh (rare earthquake)	10	475	10% trong 50 năm	475
Động đất rất mạnh (very rate earthquake)	2	2475	10% trong 100 năm	970

### 2.2. Mức tính năng công trình

Mức tính năng của công trình là "tình trạng" của công trình sau khi xảy ra động đất, hay nói cách khác đây là chỉ tiêu đánh giá mức độ phá hoại công trình do động đất gây ra. PBSĐ yêu cầu không những phải đảm bảo an toàn, mà còn khống chế mức độ phá hoại, để hạn chế thiệt hại về kinh tế ở mức độ nhất định. Do đó, với mỗi mức nguy cơ động đất cần phải có mức tính năng của công trình tương ứng. Việc xác định mức tính năng của công trình liên quan đến mức tính năng của cấu kiện kết cấu (Structural Performance Levels) và cấu kiện phi kết cấu (Nonstructural Performance Levels).

#### 2.2.1. Mức tính năng cấu kiện kết cấu

ASCE 41[9] qui định ba mức tính năng cấu kiện kết cấu và hai vùng tính năng nằm giữa ba mức giới hạn nêu trên. Ba mức tính năng cấu kiện kết cấu bao gồm mức "Tiếp tục sử dụng" (Immediate Occupancy Performance Level), mức "An toàn sinh mạng" (Life Safety Performance Level) và mức "Ngăn ngừa sụp đổ" (Collapse Prevention Performance Level). Hai vùng tính năng cấu kiện kết cấu bao gồm: vùng "Khống chế hư hỏng" (Damage Control Performance Range) và vùng "Giới hạn về an toàn" (Limited Safety Performance Range). Các định nghĩa và chỉ tiêu định lượng của các mức (hay vùng) tính năng kết cấu được trình bày chi tiết trong các tài liệu này, ở đây không tiếp tục đi sâu thêm.

2.2.2. Mức tính năng cấu kiện phi kết cấu

ASCE 41 [9] qui định bốn mức tính năng cấu kiện phi kết cấu. Các cấu kiện phi kết cấu bao gồm: tường ngăn, trần treo, mặt dựng; thiết bị cơ điện (hệ thống cấp nhiệt, thông gió điều hòa, hệ thống bơm, chiếu sáng...)... Bốn mức tính năng cấu kiện phi kết cấu bao gồm: “*Vận hành bình thường*” (Operational Performance Level), “*Tiếp tục sử dụng*” (Immediate Occupancy Level), “*An toàn sinh mạng*” (Life Safety Level) và “*Giảm thiểu nguy cơ*” (Hazards Reduced Level). Chi tiết về định nghĩa và chỉ tiêu định lượng của các mức tính năng cấu kiện phi kết cấu được trình bày khá kỹ trong các tài liệu nêu trên

2.2.3. Xác định mức tính năng công trình

Có rất nhiều mức tính năng của công trình được xác định dựa vào tổ hợp của mức tính năng cấu kiện kết cấu và phi kết cấu (xem Bảng C1-8, ASCE 41 [9]). Trong đó, bốn mức tính năng công trình thường dùng bao gồm:

1) *Sử dụng bình thường* (Operational Level): không có hư hỏng hoặc hư hỏng rất nhỏ đối với cấu kiện kết cấu và phi kết cấu.

2) *Tiếp tục sử dụng* (Immediate Occupancy Level): không có hư hỏng hoặc hư hỏng rất nhỏ đối với cấu kiện kết cấu; xuất hiện hư hỏng nhỏ đối với cấu kiện phi kết cấu. Nguy cơ ảnh hưởng an toàn sinh mạng ở các công trình này là rất thấp.

3) *An toàn sinh mạng* (Life Safety Level): xuất hiện hư hỏng đáng kể đối với cấu kiện kết cấu và phi kết cấu. Phải thực hiện việc sửa chữa mới có thể đưa công trình sử dụng trở lại, tuy nhiên việc sửa chữa có thể không thực tế vì tính hiệu quả kinh tế. Nguy cơ ảnh hưởng an toàn sinh mạng ở các công trình này là thấp.

4) *Ngăn ngừa sụp đổ* (Collapse Prevention Level): có nguy cơ ảnh hưởng nghiêm trọng đến an toàn sinh mạng do sự phá hoại của cấu kiện phi kết cấu. Tuy nhiên, do công trình không sụp đổ nên vẫn tránh được thảm họa thiệt hại sinh mạng. Phần lớn các công trình thuộc cấp tính năng này đều bị thiệt hại hoàn toàn về kinh tế.

2.3. Mục tiêu tính năng

Mục tiêu tính năng (performance objective) của công trình là mức độ ứng xử mong muốn của công trình khi chịu tác động của động đất ở một độ lớn nhất định. Việc lựa chọn mục tiêu tính năng của công trình là tiền đề và cơ sở để tiến hành thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng. Nếu mục tiêu tính năng yêu cầu quá cao thì độ an toàn của công trình được nâng cao, nhưng chi phí đầu tư xây dựng tăng lên nhiều; nếu mục tiêu tính năng đặt ra thấp, tuy có thể làm giảm chi phí đầu tư ban đầu nhưng sẽ làm tăng nguy cơ hư hỏng của công trình, cũng như làm tăng chi phí duy tu bảo dưỡng. Do vậy, việc xác định mục tiêu tính năng của công trình cần xem xét một cách tổng quát các yếu tố như điều kiện địa chất, tầm quan trọng của công trình, tổn thất và chi phí sửa chữa khi động đất xảy ra, giá trị văn hóa lịch sử, hiệu ứng xã hội và năng lực của chủ đầu tư.

Bảng 2. Mục tiêu tính năng theo ASCE 41

Mức nguy cơ động đất	Cấp tính năng công trình			
	Sử dụng bình thường	Tiếp tục sử dụng	An toàn sinh mạng	Ngăn ngừa sụp đổ
Động đất nhỏ (50% trong 50 năm)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Động đất vừa (20% trong 50 năm)	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
Động đất mạnh (10% trong 50 năm)	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
Động đất rất mạnh (2% trong 50 năm)	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>

ASCE 41 kiến nghị ba mức mục tiêu tính năng của công trình lần lượt là “*Mục tiêu an toàn cơ bản*” (Basic Safety Objective), “*Mục tiêu tăng cường*” (Enhanced Objectives) và “*Mục tiêu giới hạn*” (Limited Objectives). Trong đó, “*Mục tiêu an toàn cơ bản*” được biểu thị bằng tính năng *k* và *p* (xem Bảng 2) với ý nghĩa công trình thuộc cấp mục tiêu tính năng này sẽ đảm bảo an toàn sinh mạng khi chịu tác động của động đất mạnh và không

sụp đổ khi chịu tác động của động đất rất mạnh. Công trình được thiết kế theo các tiêu chuẩn hiện hành như IBC, UBC được xem như thỏa mãn cấp mục tiêu tính năng này [9]. Công trình có cấp mục tiêu tính năng cao hơn “Mục tiêu an toàn cơ bản” sẽ thuộc cấp “Mục tiêu tăng cường”, ví dụ tổ hợp ( $p$  và  $i$  hoặc  $j$ ). Ngược lại nếu công trình có cấp mục tiêu tính năng thấp hơn cấp “Mục tiêu an toàn cơ bản” sẽ thuộc cấp “Mục tiêu giới hạn”, ví dụ: chỉ mỗi  $k$  hay chỉ mỗi  $p$ .

#### 2.4. Mô hình hóa và phân tích kết cấu

Hiện tại có nhiều phương pháp phân tích có thể được sử dụng để đánh giá kết cấu công trình đối với các mục tiêu tính năng đã xác định. Phương pháp phân tích đàn hồi tuyến tính (linear elastic analysis) thường được dùng khi phân tích kết cấu chịu tác động của động đất nhỏ, khi đó các cấu kiện kết cấu về cơ bản vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Phương pháp phân tích phi tuyến tĩnh đẩy dần (nonlinear static push over analysis) hay phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian (nonlinear time history analysis) thường được dùng khi phân tích kết cấu khi chịu tác động của động đất mạnh và rất mạnh. Trong đó với phần lớn trường hợp phương pháp phân tích đẩy dần được xem là công cụ có tính áp dụng thực tiễn cao hơn bởi sự đơn giản của nó so với phương pháp phân tích theo lịch sử thời gian.

Không như với phương pháp phân tích và thiết kế đàn hồi tuyến tính đã được sử dụng từ lâu, kỹ thuật phân tích ngoài đàn hồi phi tuyến và ứng dụng của nó trong thiết kế vẫn còn trong giai đoạn phát triển và yêu cầu nhiều kỹ năng mới ở kỹ sư thiết kế. Việc phân tích phi tuyến yêu cầu một tư duy về ứng xử ngoài đàn hồi và các trạng thái giới hạn (phụ thuộc vào biến dạng cũng như lực) đối với người kỹ sư. Trong phân tích này, cần phải định nghĩa các mô hình ứng xử của cấu kiện để có thể phản ánh mối quan hệ lực - biến dạng của cấu kiện dựa vào đặc trưng cường độ và độ cứng kỳ vọng và biến dạng lớn. Tùy thuộc vào loại hình kết cấu, kết quả phân tích phi tuyến có thể rất nhạy cảm với các thông số giả thuyết đầu vào và các mô hình ứng xử được sử dụng. Chính vì vậy, kỹ sư cần có khả năng phán đoán tốt về vị trí hay bộ phận kết cấu được kỳ vọng là sẽ trải qua biến dạng ngoài đàn hồi. Phân tích là để (1) xác nhận các vị trí làm việc ngoài đàn hồi và (2) biểu thị biến dạng đối với cấu kiện chảy dẻo và lực đối với cấu kiện chưa chảy dẻo.

Trong khía cạnh nói trên, khái niệm thiết kế theo khả năng (capacity design) được nhìn nhận là giúp đảm bảo tính năng của kết cấu một cách đáng tin cậy. Phân tích phi tuyến, về lý thuyết, có thể được dùng để theo dõi ứng xử của kết cấu tới điểm bắt đầu phá hoại. Phân tích này cần tới các mô hình ứng xử phức tạp đã được kiểm chứng thông qua thí nghiệm, để bắt được ứng xử phi tuyến lớn khi kết cấu tiến tới trạng thái phá hoại. Do bởi tính biến động trong các tính toán về lực và biến dạng giới hạn tăng lên khi kết cấu càng đi vào vùng biến dạng dẻo, nên khi thiết kế cần có giới hạn để biến dạng nằm trong vùng ứng xử có thể dự báo được, để không xảy ra sự suy giảm đột ngột về cường độ và độ cứng.

### 3. So sánh với phương pháp thiết kế kháng chấn hiện hành

Dựa vào các nội dung liên quan đến thiết kế theo tính năng như đã nêu ở trên, dưới đây trình bày một số so sánh đơn giản giữa phương pháp PBSĐ và phương pháp thiết kế kháng chấn hiện hành, chi tiết xem Bảng 3.

**Bảng 3.** So sánh giữa PBSĐ và phương pháp thiết kế kháng chấn hiện hành

Nội dung so sánh	Phương pháp thiết kế kháng chấn hiện hành	Phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng
Mục tiêu kháng chấn	Đưa ra yêu cầu không sụp đổ và yêu cầu hạn chế hư hỏng ứng với các cấp nguy cơ động đất khác nhau; có yêu cầu cụ thể không chế chuyển vị lệch tầng;	Đưa ra nhiều yêu cầu về tính năng cụ thể của cấu kiện kết cấu và phi kết cấu ứng với các cấp động đất khác nhau.
Quy trình triển khai	Tiến hành thiết kế theo các bước qui định trong tiêu chuẩn; quy định cụ thể về tính đều đặn theo mặt bằng và mặt đứng của kết cấu; định hướng sự phá hoại dẻo của kết cấu thông qua việc điều chỉnh nội lực (mang tính kinh nghiệm) của cấu kiện; tiến hành kiểm tra biến dạng của công trình trong giai đoạn đàn	Ngoài việc thỏa mãn các yêu cầu cơ bản, còn phải đưa ra các luận chứng để chứng minh thỏa mãn các tính năng đề ra ban đầu, bao gồm hệ kết cấu, các tính toán chi tiết, biện pháp kháng chấn và các thí nghiệm cần thiết. Ngoài ra cần phải thông qua hội đồng chuyên gia để thẩm tra xác nhận.

	hồi dềo.	
Tình hình áp dụng thực tế	Áp dụng phổ biến trong thực tế thiết kế. Các kỹ sư thiết kế đã nắm bắt được phương pháp này. Tuy nhiên còn có hạn chế đối với kết cấu phức tạp, chưa thích ứng được với yêu cầu phát triển của công nghệ mới, vật liệu mới và các kết cấu mới.	Áp dụng còn ít, các kỹ sư thiết kế phần nhiều chưa nắm bắt được phương pháp này. Đây là phương pháp có thể áp dụng cho các kết cấu phức tạp, nằm ngoài phạm vi giới hạn của tiêu chuẩn, thúc đẩy sự sáng tạo và áp dụng các công nghệ mới, vật liệu mới, kết cấu mới.

#### 4. Kết luận

PBSD là xu hướng thiết kế kháng chấn mới, đặc biệt phù hợp trong việc thiết kế các kết cấu phức tạp, kết cấu nhà siêu cao tầng [11,12,13]. Phương pháp này có nhiều ưu điểm như (1) khảo sát được ứng xử của kết cấu dưới tác động động đất một cách tin cậy hơn, (2) cho phép áp dụng vật liệu mới hay giải pháp kỹ thuật tiên tiến một cách hiệu quả, (3) giúp đạt được các sáng tạo về hình thái kiến trúc nhờ sự đáp ứng tin cậy của giải pháp kết cấu và (4) giảm chi phí xây dựng [12]. Tuy vậy, để có thể áp dụng phương pháp này một cách rộng rãi, không những đòi hỏi trình độ chuyên môn cao của kỹ sư thiết kế, mà còn cả cách nhìn nhận của chủ đầu tư và cơ quan quản lý xây dựng đối với phương pháp mới này. Với kỹ sư thiết kế, kiến thức vững chắc về các lĩnh vực như đánh giá nguy cơ động đất, đặc trưng ứng xử của vật liệu, ứng xử của kết cấu trong giai đoạn đàn hồi dẻo và các kỹ thuật phân tích phi tuyến là yếu tố quan trọng để có thể đảm bảo độ tin cậy của đồ án thiết kế theo phương pháp PBSD.

PBSD là vấn đề được quan tâm nghiên cứu trong khoảng hơn mười năm trở lại đây và trên thực tế, phần lớn mới chỉ được áp dụng ở một số nước như Mỹ, Nhật, Úc và Trung Quốc. Đối với Việt Nam, đây là lĩnh vực mới mẻ, rất cần sự đầu tư nghiên cứu để có thể bắt kịp xu hướng của thế giới.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. UBC, 1997, "Uniform Building Code," Vol. 2, International Council of Building Officials.
2. IBC, 2003, International Building Code, International Code Council.
3. Comite Europeen de Normalisation (2004) Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Building.
4. SEAOC. Performance-Based Seismic Engineering of Buildings. Vision 2000 Committee. Structural Engineers Association of California, 1995.
5. FEMA 273, 1997, NEHRP guidelines for seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency.
6. FEMA 274, 1997, NEHRP commentary on the guidelines for seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency.
7. FEMA 349, 2000, Action Plan for Performance Based Seismic Design. Federal Emergency Management Agency.
8. FEMA 356, 2000, "Prestandard and Commentary on the Seismic Rehabilitation of Buildings," Federal Emergency Management Agency.
9. ASCE 41-06: Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers, 2006.
10. FEMA 445, 2006, Next-generation performance-based seismic design guidelines program plan for new and existing buildings. Applied Technology Council □ Federal Emergency Management Agency.
11. Recommendations for the Seismic Design of High-rise Buildings, CTBUH, 2008.
12. Guidelines for Seismic Design of Tall Buildings, PEER, 2010.
13. Outrigger Design for High-Rise Buildings, CTBUH, 2012.
14. Dennis C.K. Poon, Ling-en Hsiao, Yi Zhu, Steve Zuo, Guoyong Fu. Structural Analysis and Design Challenges of the Shanghai Center. 2010 Structures Congress, ASCE.
15. Charles M. Besjak, Brian J. McElhatten, Preetam Biswas. Performance-based Evaluation for the 450m Nanjing Greenland Financial Center Main Tower. 2010 Structures Congress, ASCE.

16. Dennis C.K. Poon, Ling-en Hsiao, Yi Zhu, Steven Pacitto, Steve ZuoTorsten Gottlebe, Rohit Srikonda. Performance-based Seismic Evaluation of Ping An International Finance Center, Structures Congress 2011, ASCE.