

# QUAN NIỆM MỚI TRONG THIẾT KẾ CÔNG TRÌNH CHỊU ĐỘNG ĐẤT VÀ TIÊU CHUẨN TCXDVN 375 : 2006

PGS., TS. NGUYỄN LÊ NINH  
Trường đại học Xây dựng Hà Nội

Tóm tắt: *Thừa nhận những thất bại tạm thời trong việc dự báo động đất, con người đã phải thay đổi cách thức thiết kế các công trình chịu động đất. Bài báo giới thiệu những điểm cơ bản trong quan niệm thiết kế mới cũng như những nguyên tắc thiết kế công trình chịu động đất theo tiêu chuẩn TCXDVN 375:2006.*

## 1. Đặt vấn đề

Mục tiêu cơ bản của việc thiết kế các công trình chịu động đất là bảo vệ sinh mạng con người và của cải vật chất xã hội. Con người sống và làm việc trong các công trình xây dựng; của cải vật chất xã hội chính là bản thân các công trình xây dựng và các tài sản khác nằm trong các công trình xây dựng. Do vậy theo quan niệm trước đây, để thực hiện được mục tiêu trên các công trình xây dựng không được phép bị phá hoại khi động đất xảy ra. Sự phá hoại được định nghĩa ở đây là trạng thái khi tại bất kỳ vị trí nào đó trong hệ kết cấu, khả năng chịu lực của của tiết diện nhỏ hơn nội lực lớn nhất xuất hiện tại đó dưới tác động của các loại tải trọng tính toán. Như vậy theo cách thiết kế này, sinh mạng con người và của cải vật chất xã hội được bảo vệ gián tiếp thông qua việc bảo vệ công trình xây dựng. Các công trình xây dựng được thiết kế với tác động đất lớn nhất dự kiến sẽ xảy ra và làm việc hoàn toàn trong miền đàn hồi.

Trong thiết kế các công trình chịu động đất, độ lớn tác động động đất là một yếu tố có độ tin cậy rất thấp. Sau nhiều trăm năm nỗ lực nghiên cứu, con người đã phải tạm thời chấp nhận thất bại trong việc dự báo động đất, đặc biệt trong các vấn đề dự báo thời điểm và độ lớn các trận động đất sẽ xảy ra. Do vậy việc thiết kế các công trình chịu động đất chỉ làm việc trong giai đoạn đàn hồi theo quan niệm trên hoàn toàn không hợp lý và không kinh tế. Vì lý do này, trong vài thập niên gần đây, cách thức thiết kế kháng chấn các công trình xây dựng đã có sự thay đổi cơ bản, chuyển từ việc bảo vệ công trình sang bảo vệ trực tiếp sinh mạng con người và của cải vật chất xã hội. Theo đó, khi động đất xảy ra các công trình xây dựng không nhất thiết chỉ làm việc đàn hồi mà có thể làm việc sau giới hạn đàn hồi miễn là không bị sụp đổ. Sụp đổ ở đây được hiểu theo nghĩa là trạng thái khi những người sống trong nhà không thể chạy thoát ra ngoài do một sự cố nghiêm trọng ở hệ kết cấu chịu lực chính.

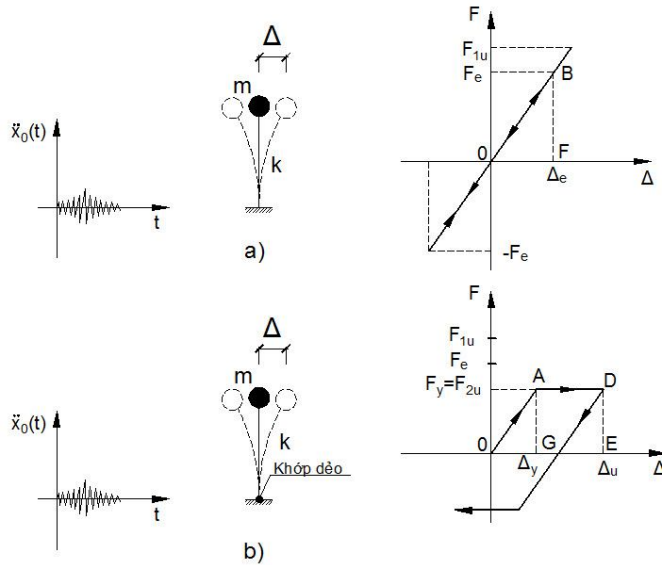
Phần sau đây sẽ đề cập tới quan niệm thiết kế mới này cũng như những nguyên tắc cơ bản trong nội dung TCXDVN 375:2006.

## 2. Quan niệm mới trong thiết kế các công trình chịu động đất

### 2.1. Mục tiêu thiết kế và cách thức đạt được mục tiêu thiết kế

Để làm rõ cách thức thiết kế theo quan niệm mới, ta xét ví dụ đơn giản sau [3].

Dưới tác động động đất biểu thị qua gia tốc nền  $\ddot{x}_0(t)$ , hệ kết cấu có một bậc tự do động với khối lượng  $m$  và độ cứng  $k$ , dao động tự do không lực cản (hình 1). Giả thiết rằng hệ kết cấu được thiết kế để có khả năng chịu lực  $F_{1u}$  và phản ứng một cách hoàn toàn đàn hồi dưới tác động động đất với đồ thị lực - chuyển vị như trong hình 1a. Lúc động đất xảy ra, lực quán tính lớn nhất tác động lên khối lượng  $m$  của hệ kết cấu có giá trị  $F_e < F_{1u}$ . Khi khối lượng của hệ kết cấu đạt chuyển vị  $\Delta_e$ , thế năng tích lũy trong hệ kết cấu dưới dạng năng lượng biến dạng được biểu thị qua diện tích tam giác OBF đúng bằng động năng của nó. Lúc này, do tốc độ chuyển động bằng không nên lực phục hồi này sẽ làm cho hệ kết cấu chuyển động về phía hướng ngược lại, gây ra dao động với biên độ không đổi.



**Hình 1.** Phản ứng của các hệ kết cấu có một BTDD chịu tác động động đất:  
a) Phản ứng đàn hồi; b) Phản ứng đàn hồi - dẻo

Nếu giả thiết hệ kết cấu được thiết kế với một khả năng chịu lực  $F_{2u}$  nhỏ hơn nhiều so với  $F_{1u}$ , khi lực tác động đạt tới giá trị  $F_y = F_{2u} < F_e$  ở chân của hệ kết cấu sẽ hình thành một khớp dẻo (bị phá hoại theo quan niệm của cách thiết kế thông thường) (hình 1b). Tại điểm A, khi nội lực đạt tới giá trị  $F_{2u}$  kết cấu không thể chịu lực thêm nữa nhưng có thể tiếp tục biến dạng dưới tác động của lực  $F_y$  theo đường AD và đạt tới giá trị lớn nhất  $\Delta_u$  tại điểm D ( $\Delta_u$  được giả thiết nhỏ hơn khả năng biến dạng của khớp dẻo). Trong trường hợp này, thế năng lớn nhất tích lũy trong hệ kết cấu khi đạt tới chuyển vị ngang  $\Delta_u$  được biểu thị qua diện tích hình thang OADE. Khi trở lại vị trí cân bằng ban đầu, phần năng lượng chuyển thành động năng được biểu thị qua diện tích hình tam giác DEG, trong khi phần năng lượng biểu diễn qua diện tích hình bình hành OADG được phân tán qua khớp dẻo dưới dạng nhiệt, ma sát và các dạng năng lượng khác không thu hồi được.

Như vậy, từ chu kỳ này sang chu kỳ khác ở hệ kết cấu đàn hồi (hình 1a) có sự liên tục chuyển đổi qua lại giữa động năng và thế năng, còn ở hệ kết cấu đàn hồi dẻo (hình 1b) chỉ một phần thế năng được chuyển thành động năng, phần lớn năng lượng được tiêu tán qua biến dạng dẻo. Qua ví dụ này ta thấy một hệ kết cấu có thể chịu tác động động đất theo một trong hai cách sau:

- Cách thứ nhất: bằng khả năng chịu một lực tác động lớn ( $F_e$ ) nhưng phải làm việc trong giới hạn đàn hồi, hoặc:

- Cách thứ hai: bằng khả năng chịu một lực tác động bé hơn ( $F_y < F_e$ ) nhưng phải có *khả năng biến dạng dẻo* kèm theo.

Cách thứ nhất là cách thiết kế theo quan niệm trước đây, đáp ứng các yêu cầu bảo vệ công trình, còn cách thứ hai là cách thiết kế theo quan niệm mới, đáp ứng các yêu cầu bảo vệ trực tiếp sinh mạng con người và của cải vật chất xã hội. Như vậy, khác với cách thiết kế thứ nhất, công trình xây dựng được thiết kế theo cách thứ hai làm việc sau giai đoạn đàn hồi, chấp nhận các biến dạng lớn (nhưng không sụp đổ) ở kết cấu chịu lực chính khi chịu các trận động đất mạnh hoặc rất mạnh. Hiện nay các tiêu chuẩn thiết kế của các nước trên thế giới trong đó có TCXDVN 375 :2006 đều chọn cách thứ hai khi thiết kế các công trình xây dựng trong các vùng động đất từ trung bình trở lên. Cách thứ nhất chỉ thích hợp cho việc thiết kế các công trình xây dựng trong các vùng động đất rất yếu. Chúng ta có thể thiết kế được các công trình chịu được các trận động đất mạnh và rất mạnh mà không bị hư hỏng (cách thứ nhất), nhưng trong đa số các trường hợp việc thiết kế như vậy sẽ làm cho các cấu kiện có kích thước quá lớn trong khi xác suất xuất hiện những trận động đất mạnh thường rất thấp.

## 2.2. Các nguyên tắc cơ bản của việc thiết kế theo quan niệm mới

Các nguyên tắc cơ bản của việc thiết kế các công trình chịu động đất theo quan niệm mới (theo cách thứ hai) có thể tóm lược dưới dạng các yêu cầu sau thông qua các trạng thái giới hạn làm việc của chúng (bảng 1) [1]:

a) *Trạng thái giới hạn làm việc*: Công trình phải chịu được các trận động đất yếu thường hay xảy ra mà không bị bất cứ hư hỏng nào ở kết cấu chịu lực lẫn không chịu lực. Công trình vẫn hoạt động bình thường, kể cả các thiết bị bên trong công trình. Điều này có nghĩa là, trong thời gian động đất yếu tất cả các bộ phận kết cấu tạo nên công trình phải làm việc trong giới hạn đàn hồi.

b) *Trạng thái giới hạn cuối cùng hoặc trạng thái giới hạn kiểm soát hư hỏng*: Công trình phải chịu được các trận động đất có độ mạnh trung bình với các hư hỏng rất nhẹ có thể sửa chữa được ở các bộ phận kết cấu chịu lực, cũng như ở các bộ phận không chịu lực.

c) *Trạng thái giới hạn sụp đổ hoặc trạng thái giới hạn tồn tại*. Đối với đại đa số các công trình xây dựng, khi xảy ra động đất mạnh hoặc rất mạnh cho phép xuất hiện những hư hỏng lớn ở hệ kết cấu chịu lực và các thiết bị bên trong. Trong một số trường hợp, những sự hư hỏng này có thể không sửa chữa được nhưng công trình không được phép sụp đổ.

**Bảng 1. Các yêu cầu thiết kế công trình chịu động đất**

Trạng thái giới hạn	Đặc tính kết cấu	Trạng thái kết cấu	Trạng thái kinh tế-xã hội	Phản ứng kết cấu	Nguy cơ động đất	
					Nguy cơ	Chu kỳ lặp (năm)
Làm việc bình thường	Độ cứng	Hư hỏng không đáng kể	Hoạt động không gián đoạn	Phản ứng đàn hồi	Thường hay xảy ra	~ 75 ÷ 200
Kiểm soát hư hỏng	Độ bền	Hư hỏng có thể sửa chữa được	Thiệt hại kinh tế hạn chế	Phản ứng đàn hồi – dẻo hạn chế	Thỉnh thoảng xảy ra	~ 400 ÷ 500
Ngăn ngừa sụp đổ	Độ dẻo	Không sụp đổ	Sinh mạng con người được bảo vệ	Phản ứng đàn hồi dẻo lớn	Rất ít khi xảy ra	~ 2000 ÷ 2500

## 3. Thiết kế công trình chịu động đất theo TCXDVN 375:2006

Trong tiêu chuẩn của Việt Nam “Thiết kế công trình chịu động đất” (TCXDVN 375:2006), quan niệm thiết kế trên được thể hiện dưới dạng hai yêu cầu cơ bản và hai tiêu chí tương hợp kèm theo [6].

### 3.1. Các yêu cầu cơ bản

Việc thiết kế các công trình xây dựng chịu động đất được thực hiện theo hai cấp với các mục tiêu công năng sau:

a. *Không sụp đổ* : bảo vệ sinh mạng con người dưới tác động động đất ít khi xảy ra bằng cách ngăn không cho kết cấu bị sụp đổ toàn bộ hoặc một phần, đồng thời giữ được tính nguyên vẹn và một phần khả năng chịu tải của nó sau khi động đất xảy ra. Điều này cũng có nghĩa là kết cấu bị hư hỏng nghiêm trọng và có thể có biến dạng dư vừa phải nhưng vẫn giữ được khả năng chịu tải trọng đứng và vẫn còn đủ độ bền ngang và độ cứng để bảo vệ sinh mạng con người, thậm chí ngay cả khi có các dư chấn mạnh. Việc sửa chữa các công trình trong trường hợp này có thể không kinh tế.

b. *Hạn chế hư hỏng* : việc giảm thiểu thiệt hại tài sản được thực hiện thông qua việc hạn chế hư hỏng ở bộ phận kết cấu chịu lực và không chịu lực trong các trận động đất thường hay xảy ra. Bản thân kết cấu cũng như các cấu kiện thành phần của nó không có các biến dạng ngang dư, độ cứng và độ bền của chúng được bảo toàn hoàn toàn và không cần phải sửa chữa sau động đất. Các cấu kiện không chịu tải có thể bị một số hư hỏng nhưng có thể sửa chữa dễ dàng và kinh tế sau động đất.

Đi kèm theo hai cấp công năng (hai trạng thái giới hạn) trên là hai cấp tác động động đất. Tác động động đất cho cấp ngăn ngừa sụp đổ được gọi là *tác động động đất thiết kế*, còn cho cấp hạn chế hư hỏng thường được gọi là *tác động động đất làm việc*. Tiêu chuẩn TCXDVN 375 :2006 quy định đối với các công trình xây dựng có tầm quan trọng thông thường (với hệ số tầm quan trọng  $\gamma_I = 1,0$ ):

- Tác động động đất thiết kế là tác động động đất có xác suất vượt quá 10% trong 50 năm (chu kỳ lặp trung bình 475 năm);

- Tác động động đất làm việc là tác động động đất có xác suất vượt quá 10% trong 10 năm (chu kỳ lặp trung bình 95 năm).

Tác động động đất thiết kế đối với các công trình có tầm quan trọng thông thường là tác động động đất quy ước (tham chiếu) và chu kỳ lặp trung bình của nó được gọi là chu kỳ lặp quy ước (tham chiếu). Tác động động đất quy ước được xác định trên cơ sở đỉnh gia tốc nền quy ước  $a_{gR}$  trên nền loại A. Đối với các công trình có tầm quan trọng lớn hơn hoặc thấp hơn, tác động động đất được tăng lên hoặc giảm xuống bằng cách nhân tác động động đất quy ước với hệ số  $\gamma_I$  lớn hơn 1,0 hoặc nhỏ hơn 1,0 điều này cũng có nghĩa là kéo dài hoặc rút ngắn chu kỳ lặp động đất so với chu kỳ lặp quy ước. Như vậy gia tốc nền thiết kế dùng để xác định tác động động đất lên các công trình có tầm quan trọng khác thông thường là  $a_g = \gamma_I a_{gR}$  trên nền đất loại A.

Đối với cấp công năng hạn chế hư hỏng, tác động động đất làm việc được xác định gián tiếp thông qua hệ số chiết giảm ở biểu thị tỷ số giữa tác động động đất làm việc và tác động động đất thiết kế.  $v = 0,4$  cho các công trình có cấp quan trọng I và II ;  $v = 0,5$  cho các cấp quan trọng III và IV.

### **3.2. Các tiêu chí tương hợp kèm theo**

Để thoả mãn hai yêu cầu cơ bản (hai cấp công năng) trên, tiêu chuẩn TCXDVN 375:2006 quy định cần thực hiện các tiêu chí tương hợp kèm theo.

#### **3.2.1. Các tiêu chí liên quan tới yêu cầu không sụp đổ**

Cấp công năng không sụp đổ được xem là trạng thái giới hạn cực hạn mà vượt qua nó công trình có thể bị sụp đổ gây nguy hiểm cho tính mạng con người. ở trạng thái giới hạn này công trình được thiết kế trên cơ sở lực và theo một trong hai cách thức sau đã được đề cập tới ở trên (hình 1a,b).

##### **a. Thiết kế để tiêu tán năng lượng và có độ dẻo**

Đây là tên gọi của cách thức thiết kế công trình chịu động đất thực hiện theo TCXDVN 375:2006. Theo cách thức thiết kế này, khi chịu tác động động đất thiết kế các công trình được phép có biến dạng không đàn hồi lớn với điều kiện không đe dọa tới tính toàn vẹn của các cấu kiện thành phần cũng như toàn bộ hệ kết cấu. Cơ sở của việc thiết kế kháng chấn dựa trên lực để có độ dẻo là *phổ phản ứng không đàn hồi* của hệ có một bậc tự do (MBTD) có đường cong lực (F) – chuyển vị ( $\Delta$ ) đàn hồi – dẻo tuyệt đối khi tăng tải đều (hình 1b). Phổ phản ứng không đàn hồi, còn được gọi là *phổ thiết kế* dùng để xác định lực tác động động đất lên công trình là phổ phản ứng đàn hồi được thu nhỏ lại thông qua *hệ số ứng xử* q.

Hệ số ứng xử q là tỷ số giữa lực lớn nhất có thể phát sinh trong hệ MBTD khi làm việc hoàn toàn đàn hồi ( $F_e$ ) và khi làm việc đàn hồi - dẻo ( $F_y$ ) :  $q = F_e/F_y$  (hình 1a và b). Hệ số này có ý nghĩa như là một hệ số giảm lực quán tính tác động lên hệ làm việc đàn hồi và tương đương với nó là giảm các nội lực phát sinh trong hệ. Do đó trong các tiêu chuẩn thiết kế kháng chấn của Hoa Kỳ, hệ số này được gọi là hệ số giảm tải hoặc điều chỉnh phản ứng. Với “mưu mẹo” này, các nội lực do động đất gây ra trong các cấu kiện kết cấu có thể được xác định dễ dàng bằng các phương pháp phân tích đàn hồi tuyến tính. Cần hết sức lưu ý rằng, để có được sự giảm tải này, *hệ kết cấu cần phải được cung cấp khả năng chuyển vị tổng thể* ít nhất bằng chuyển vị tổng thể của nó nhân với *hệ số độ dẻo chuyển vị*  $\mu_\Delta = \Delta_u/\Delta_y$  tương ứng với hệ số q dùng để giảm lực đàn hồi tính toán, trong đó  $\Delta_u$  – chuyển

vị lớn nhất cần thiết ngay trước khi phá hoại và  $\Delta_y$  – chuyển vị chảy đầu tiên trong hệ kết cấu làm việc đàn hồi – dẻo (hình 1b). Khả năng này của kết cấu được gọi là khả năng biến dạng dẻo hoặc khả năng tiêu tán năng lượng. Với khả năng này, các cấu kiện và toàn bộ hệ kết cấu sẽ tiêu tán một phần năng lượng động đất đưa vào thông qua cản trễ (diện tích hình bình hành OADG – hình 1b).

Không phải tất cả các vùng hoặc phần kết cấu đều có khả năng làm việc dẻo và tiêu tán năng lượng trễ. Tiêu chuẩn TCXDVN 375:2006 cung cấp một công cụ đặc biệt, gọi là *phương pháp thiết kế theo khả năng* để kiểm soát cơ cấu phá hoại kết cấu (vị trí các vùng sẽ bị biến dạng chảy) và cách thức phá hoại sẽ xảy ra tại các vùng này. Các vùng cấu kiện được chỉ định để phân tán năng lượng trễ được gọi là *vùng tới hạn* hoặc *vùng tiêu tán*. Chúng được thiết kế và cấu tạo theo các quy định cho trong TCXDVN 375:2006 để có khả năng biến dạng dẻo và tiêu tán năng lượng cần thiết theo yêu cầu. Các vùng và phần cấu kiện còn lại (được giữ lại để làm việc đàn hồi) được thiết kế theo các tiêu chuẩn không kháng chấn (ví dụ theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT - TCXDVN 356:2005). Như vậy độ dẻo và thiết kế theo khả năng là hai nội dung chính của tiêu chuẩn thiết kế TCXDVN 375:2006.

#### *b. Thiết kế để bảo đảm độ bền*

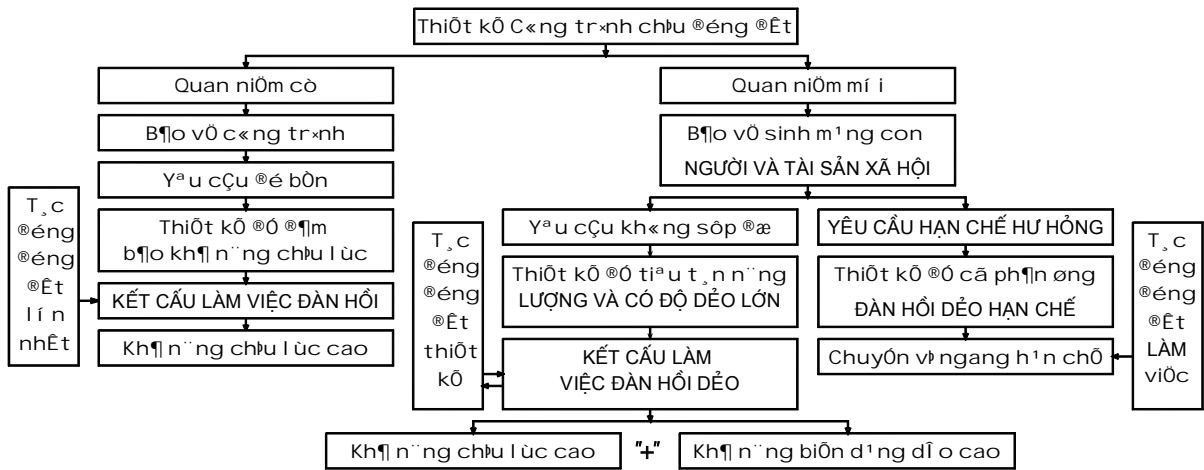
Tiêu chuẩn TCXDVN 375:2006 cho phép thiết kế công trình chịu động đất theo điều kiện đảm bảo độ bền như cách thiết kế theo quan niệm cũ, mà không phải tuân theo các quy định bảo đảm khả năng tiêu tán năng lượng và độ dẻo cho trong tiêu chuẩn (hình 1a). Trong trường hợp này, tác động động đất ngang được xác định từ phổ phản ứng thiết kế sử dụng hệ số ứng xử  $q = 1,5$  ừ 2 (2 đối với kết cấu thép hoặc liên hợp thép bê tông). Việc thiết kế được thực hiện theo các tiêu chuẩn thiết kế không kháng chấn (ví dụ tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT - TCXDVN 356:2005). Các kết cấu được thiết kế theo cách này được gọi là kết cấu phân tán năng lượng hạn chế hoặc thấp. Tiêu chuẩn TCXDVN 375:2006 quy định các công trình phân tán năng lượng thấp chỉ được xây dựng trong các vùng động đất rất yếu có gia tốc nền thiết kế trên nền đất loại A  $a_g < 0,04g$  ( $0,39 \text{ m/s}^2$ ) hoặc  $a_g S < 0,05g$  ( $0,49 \text{ m/s}^2$ ), trong đó S – hệ số nền.

#### *3.2.2. Các tiêu chí liên quan tới yêu cầu hạn chế hư hỏng*

Tác động động đất làm cho các cấu kiện chịu lực bị biến dạng (chuyển vị). Sự biến dạng quá mức sẽ làm cho các cấu kiện chịu lực lẫn không chịu lực trong công trình bị hư hỏng. Do đó, khác với cách thiết kế theo trạng thái giới hạn không sụp đổ dựa trên cơ sở lực, các tiêu chí dùng để kiểm tra trạng thái giới hạn hạn chế hư hỏng lại dựa trên cơ sở biến dạng. Ví dụ để hạn chế các hư hỏng ở các cấu kiện không chịu lực trong công trình, điều kiện kiểm tra là giới hạn chuyển vị ngang tương đối giữa các tầng. Giá trị chuyển vị ngang giới hạn là tích số giữa giá trị chuyển vị ngang tương đối giữa các tầng  $d_r$  xác định từ tính toán theo trạng thái giới hạn không sụp đổ nhân với hệ số chiết giảm  $v$ .

### **4. Kết luận**

Để việc xây dựng các công trình chịu động đất được an toàn và kinh tế, quan niệm thiết kế đã có những thay đổi cơ bản so với trước (hình 2). Nếu theo quan niệm cũ việc xác định tác động động đất có thể độc lập hoàn toàn với quá trình thiết kế để bảo đảm khả năng chịu lực của công trình, thì theo quan niệm mới việc xác định tác động động đất là một phần của quá trình thiết kế, phụ thuộc qua lại với quá trình thiết kế để đảm bảo được khả năng biến dạng dẻo và chịu lực của công trình. Nội dung của TCXDVN 375:2006 phản ánh quan niệm thiết kế mới này và cách thức thực hiện để đạt được các mục tiêu đề ra. Do đó, để việc áp dụng tiêu chuẩn được thuận lợi và có hiệu quả, cần phân biệt rõ những khác biệt cơ bản trong quan niệm thiết kế cũ và mới cũng như trong các cách thức thiết kế công trình chịu động đất.



Hình 2. Các quan niệm thiết kế công trình chịu động đất

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Amr S. Elnashai; Luigi Di Sarno. Fundamentals of Earthquake Engineering. A John Wiley & Son Ltd, Publication, 2008.
2. Fardis M.; E. Carvalho; A. Elnashai; E. Faccioli; P. Pinto; A. Plumier. Designers' Guide to EN 1998 - 1 and EN 1985 - 5 Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Thomas Telford, 2005.
3. George G. Penelis, Andreas J. Kappos. Earthquake - Resistant Concrete Structures. E&FN SPON 1997.
4. NGUYỄN LÊ NINH. Động đất và thiết kế công trình chịu động đất. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2007.
5. NGUYỄN LÊ NINH. Cơ sở lý thuyết tính toán công trình chịu động đất. Nhà xuất bản KHKT, 2010 (Đang chuẩn bị xuất bản).
6. TCXDVN 375:2006 - Thiết kế công trình chịu động đất.